

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

ГЛАВА I

ОБРАЗОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Объектив фотоаппарата является самой важной его частью.

При помощи объектива на светочувствительном материале образуется изображение снимаемых предметов. Масштаб этого изображения и четкость его зависят от свойств и качеств объектива.

Фотообъектив представляет собой собирающую центрированную оптическую систему, т. е. такую систему, в ко-

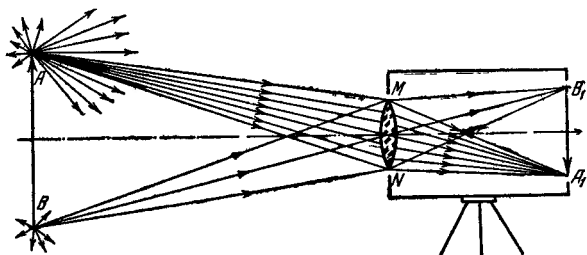


Рис. 1. Образование изображения объективом

торой центры всех составляющих ее линз лежат на одной прямой линии и которая преломляет падающие на нее лучи в направлении к центру, т. е. «собирает» их.

Воображаемая прямая линия, соединяющая центры линз объектива, называется оптической осью объектива.

В принципе объектив работает, как обыкновенная положительная линза.

Образование изображения при помощи объектива показано схематически на рис. 1

Каждая точка освещенного предмета AB отбрасывает во все стороны световые лучи. Часть этих лучей в виде расходящихся конусообразных пучков попадает на переднюю поверхность объектива (или линзы). Каждый такой пучок, преломившись, оказывается внутри фотоаппарата пучком сходящимся. В точке схождения образуется изображение той точки, из которой эти лучи исходят. Изображения всех отдельных точек предмета в совокупности и составляют изображение предмета в целом.

Из рисунка ясно и то, почему изображение получается перевернутым.

Место и размер изображения зависят от преломляющей способности линзы, т. е. от того, насколько сильно отклоняет линза падающие на ее края лучи от их первоначального направления. Чем больше будет преломляющая способность линзы, тем ближе к линзе расположатся вершины пучков A_1 и B_1 , тем меньше будет расстояние между ними и, следовательно, изображение предмета будет тем ближе к линзе и мельче.

Преломляющая способность линзы, в свою очередь, зависит от двух факторов: а) от кривизны поверхностей линзы, б) от преломляющей способности стекла, из которого сделана линза.

Место изображения и его размер зависят также и от удаленности предмета.

Если предмет AB постепенно удалять от объектива, то его изображение A_1B_1 будет приближаться к объективу и уменьшаться в размере. Плоскость предмета AB и плоскость изображения A_1B_1 называются сопряженными плоскостями, так как каждому положению AB соответствует вполне определенное положение A_1B_1 . Вначале изменение места и размера изображения происходит быстро, затем все медленнее и медленнее; в конце концов изображение займет некоторое постоянное положение и больше приближаться к объективу не будет.

Плоскость изображения в этом случае называется **фокальной плоскостью**, а точка пересечения этой плоскости с оптической осью — **точкой фокуса** объектива.

На рис. 2 показан ход лучей в этом случае. Вместо предмета AB мы взяли объект CD , который во много раз больше, чем AB . Сам объект CD на рисунке не показан, так как он находится очень далеко (как говорят, в бесконечности), а

соответствующими буквами обозначены пучки лучей, исходящие от его крайних точек. Буквой F обозначен пучок лучей, исходящий от точки объекта, лежащей на оптической оси объектива. (Пучки лучей, исходящие из бесконечно удаленных точек, можно считать пучками параллельными.)

Положение фокальной плоскости и точки фокуса для каждого объектива строго постоянное. Расстояние от центральной точки последней поверхности задней линзы объектива до точки фокуса называется задним отрезком объектива.

Величина заднего отрезка зависит от конструкции объектива. Для оптической характеристики объектива, т. е. для характеристики его преломляющей способности, пользуются не величиной заднего отрезка, а величиной фокусного расстояния.

Фокусное расстояние отсчитывается также по оптической оси до точки фокуса, но не от задней линзы, а от некоторой воображаемой точки, положение которой тоже строго постоянное в каждом объективе (хотя она и воображаемая). Эта точка называется задней главной точкой объектива (рис. 3).

Фокусное расстояние объектива зависит исключительно от его преломляющей способности, т. е. от его оптической

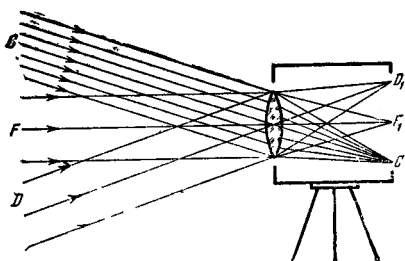


Рис. 2. Образование изображения предмета, лежащего в бесконечности:

D_1C_1 — фокальная плоскость; F_1 — точка фокуса

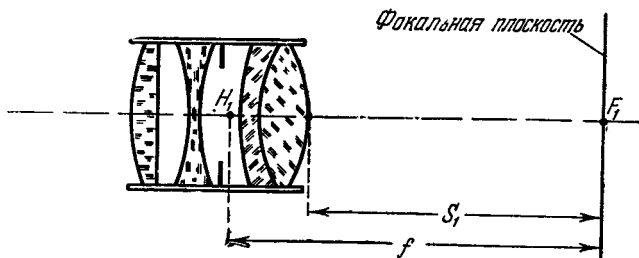


Рис. 3. Фокусное расстояние и задний отрезок объектива:

F_1 — точка фокуса; H_1 — задняя главная точка; S_1 — задний отрезок объектива, f — фокусное расстояние объектива

с к о й с и л ы: чем больше оптическая сила объектива, тем короче его фокусное расстояние, и наоборот. Зависимости же между фокусным расстоянием и задним отрезком объектива нет (рис. 4).

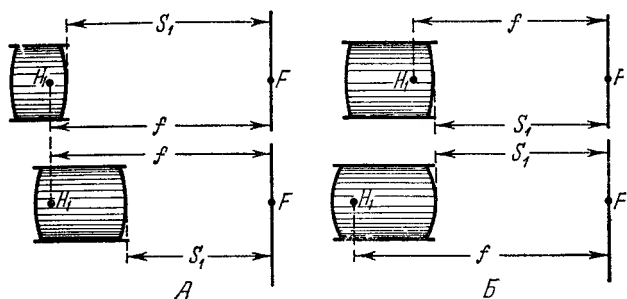


Рис. 4. Зависимость фокусного расстояния от оптической силы объектива:

А — объективы имеют одинаковую оптическую силу (т. е. дают изображения, одинаковые по масштабу); фокусные расстояния объективов одинаковы, хотя задние отрезки их различны; *Б* — объективы имеют разную оптическую силу (т. е. дают изображения, разные по масштабу); фокусные расстояния объективов различны, хотя задние отрезки их одинаковы

Оптическая сила обычно исчисляется в д и о п т р и я х, хотя можно ее характеризовать и непосредственно величиной фокусного расстояния.

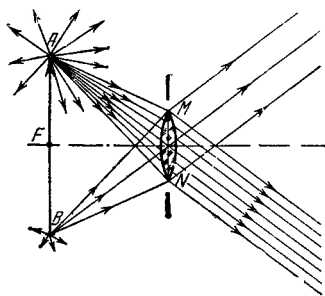


Рис. 5. Предмет находится в фокальной плоскости; изображение не образуется

За единицу принимается оптическая сила линзы, имеющей фокусное расстояние, равное 1 м.

Например, если объектив имеет фокусное расстояние 50 мм, то оптическая сила его равна: $1000 \text{ мм} : 50 \text{ мм} = 20$ диоптриям. (Фокусное расстояние в 20 раз меньше метра, следовательно оптическая сила в 20 раз больше, чем 1 диоптрия.)

Теперь вернемся к рис. 1 и представим себе, что предмет *АВ* постепенно приближается к объективу. Его изображение *А₁В₁* при этом непрерывно увеличивается в своем размере и удаляется от объектива. Это изменение происходит все быстрее и быстрее. Пучки лучей, посылаемые точками предмета в объектив, становятся все шире ($\angle MAN$ и $\angle MBN$ непре-

рывно увеличиваются), и наконец наступит такой момент, когда оптическая сила объектива окажется недостаточной, чтобы свести лучи пучков после преломления в точки, а следовательно, изображение предмета не образуется (рис. 5).

Невозможность получить изображение предмета наступает в тот момент, когда предмет достигнет некоторой определенной плоскости, называемой *передней фокальной плоскостью*. Положение этой плоскости в каждом объективе также постоянно. Точка пересечения передней фокальной плоскости с оптической осью объектива называется *точкой переднего фокуса объектива*.

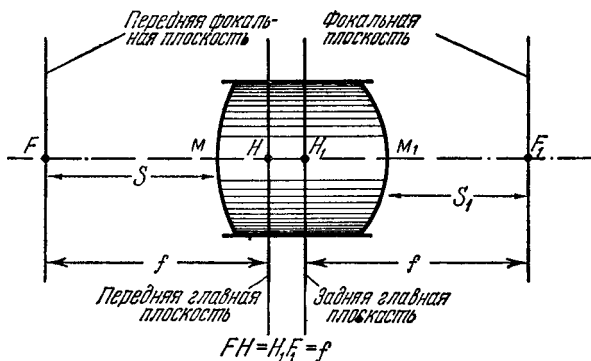


Рис. 6. Постоянные точки и плоскости объектива:

F — точка переднего фокуса; F_1 — точка фокуса; H — передняя главная точка; H_1 — задняя главная точка; f — фокусное расстояние; S и S_1 — передний и задний отрезки; M и M_1 — центральные точки поверхностей крайних линз

Расстояние от точки переднего фокуса до центральной точки передней поверхности первой линзы объектива называется *передним отрезком объектива*.

Если от точки переднего фокуса отложить по оптической оси в направлении к объективу величину фокусного расстояния, то будет найдена *передняя главная точка объектива* (которая, так же как и задняя главная точка, является воображаемой).

Воображаемые плоскости, проходящие через переднюю и заднюю главные точки перпендикулярно оптической оси, называются *главными плоскостями объектива*.

На рис. 6 показаны постоянные точки и плоскости объектива.

Расположение постоянных точек и плоскостей объектива бывает и иным, чем то, что показано на рис. 6.

Так, например, в телеобъективах главные плоскости оказываются вынесенными вперед, в сторону предметов (рис. 7), вследствие чего фокусное расстояние объектива значительно больше его заднего отрезка.

Практики часто называют телеобъективом любой длиннофокусный объектив. Это неверно.

Телеобъективом называется такой объектив, у которого главные плоскости вынесены вперед.

В некоторых объективах, наоборот, главные плоскости вынесены назад, в сторону изображения (рис. 8), вследствие

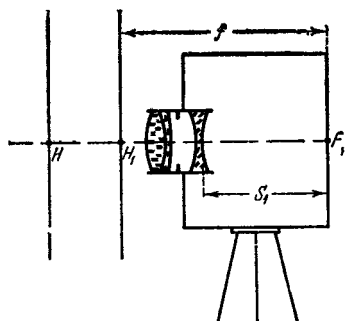


Рис. 7. Главные плоскости объектива вынесены вперед

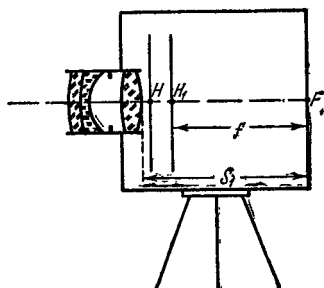


Рис. 8. Главные плоскости объектива вынесены назад

чего задний отрезок получается больше фокусного расстояния объектива.

Такая конструкция применяется иногда в короткофокусных объективах для зеркальных камер, так как при нормальном расположении главных плоскостей задний отрезок оказался бы настолько коротким, что в пространстве между объективом и светочувствительным слоем уложить механизм с зеркалом было бы трудно.

Наконец, в некоторых сложных объективах главные плоскости перемещены (рис. 9).

Такая конструкция объектива позволяет уменьшить размеры аппарата, не уменьшая при этом фокусного расстояния объектива.

Однако, как и всегда, фокусные расстояния (переднее и заднее) равны между собой и отсчитываются каждое от своей главной плоскости.

Расстояния от соответствующих главных плоскостей объектива до сопряженных плоскостей (предмета и изображения) и фокусное расстояние данного объектива связаны

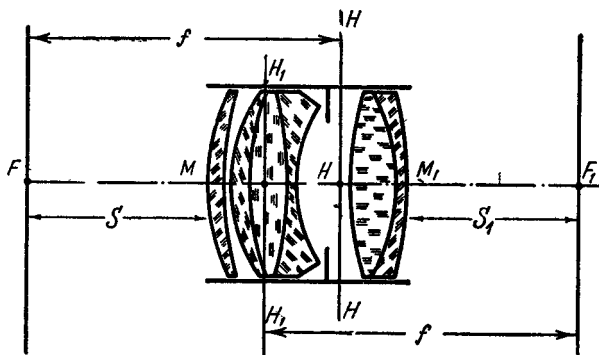


Рис. 9. Главные плоскости объектива перемещены

между собой следующей зависимостью, называемой основной формулой линзы (рис. 10):

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f},$$

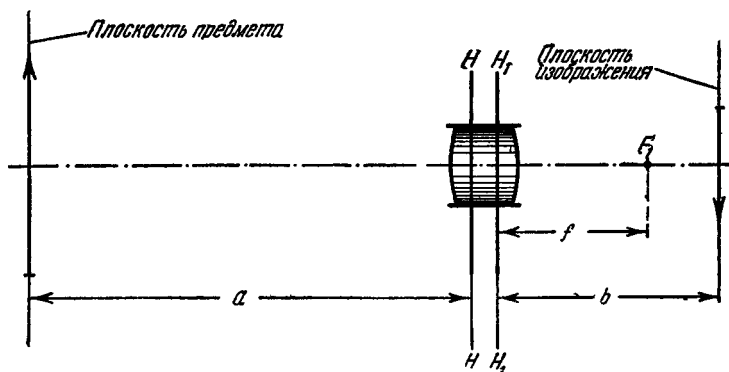


Рис. 10. Схема к основной формуле линзы

где a — расстояние от передней главной плоскости до плоскости предмета;

b — расстояние от задней главной плоскости до сопряженной плоскости изображения;

f — фокусное расстояние объектива.

ГЛАВА II

АБЕРРАЦИИ

В предыдущей главе было сказано, что фотообъектив работает в принципе так же, как и обыкновенная положительная линза. Различие заключается в том, что изображение, полученное при помощи линзы, обладает рядом недостатков, называемых аберрациями, тогда как изображение, даваемое объективом, в известной мере свободно от недостатков, а потому более резкое по всей площади (особенно по краям) и более правильное в смысле геометрического подобия его снимаемому предмету.

Не во всяком объективе все аберрации устранены в значительной степени. Тем не менее объективом любой конструкции, в том числе и простой положительной линзой, можно в ряде случаев успешно пользоваться. Надо лишь знать, какие недостатки присущи каждому из имеющихся объективов, и ясно представить себе, какого характера изображение желательно получить.

Рассмотрим, что представляет собой каждая из аберраций в отдельности и как она влияет на изображение.

Сферическая аберрация и кома

Края линзы преломляют лучи сильнее, чем это необходимо для собирания пучка в одну точку.

Любую линзу можно представить как состоящую из бесконечно большого числа concentрических колец. Каждое такое кольцо (рис. 11) собирает падающие на него лучи в

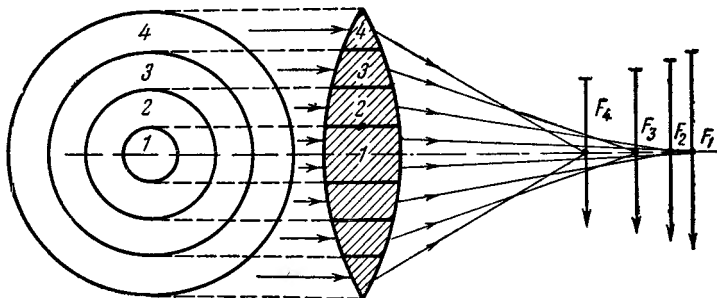


Рис 11 Схема сферической аберрации

свою точку. Чем дальше от центра линзы расположена кольцевая зона, тем ближе к линзе точка схода преломленных ею лучей.

Таким образом, каждое кольцо может рассматриваться как самостоятельный объектив, имеющий свою фокальную плоскость. Вследствие этого вместо одного изображения предмета получается ряд изображений, как бы наизванных на оптическую ось.

В какой бы из плоскостей (F_1 , F_2 , F_3 или F_4) ни был помещен светочувствительный слой, резким на нем окажется лишь одно изображение, и на это резкое изображение наложится ряд других, нерезких и не одинаковых с ним по размеру. В результате рисунок изображения получится в общем нерезким, размытым.

Это явление называется сферической аберрацией.

При небольших диаметрах линзы сферическая аберрация (ее величина измеряется расстоянием F_1 , F_4) невелика и размытость рисунка не очень сильна; рисунок изображения, как говорится, получается «мягким», что в некоторых случаях бывает даже желательно. С увеличением диаметра линзы сферическая аберрация стремительно возрастает, т. к. $F_1 F_2 < F_2 F_3 < F_3 F_4$, и рисунок изображения теряет четкость.

Величина сферической аберрации зависит от удаленности объекта. Мы, рассматривая сферическую аберрацию параллельного пучка лучей, имели в виду значительно удаленные объекты.

Кроме того, величина сферической аберрации в очень большой мере зависит от формы линзы.

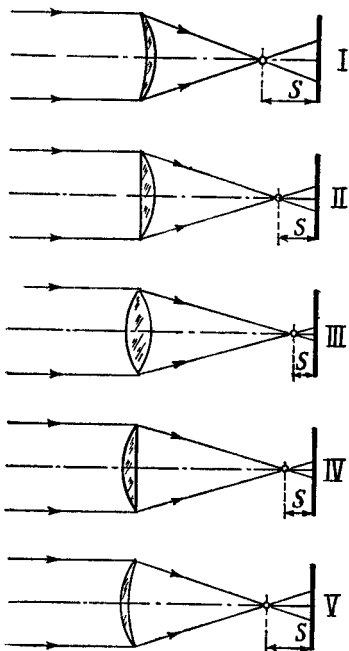


Рис. 12. Зависимость величины сферической аберрации от формы и положения линзы. Буквой S обозначена величина сферической аберрации

На рис. 12 показана сравнительная величина сферической аберрации линз одинакового фокусного расстояния, но различных форм для объекта, лежащего в бесконечности.

Наибольшей аберрацией обладают мениски *I* и *V*, особенно обращенный выпуклой стороной к изображению мениск *I*, наименьшей — двояковыпуклая линза *III*. Из рисунка видно также, что на величину сферической аберрации влияет и положение линзы. Так, например, линзы *II* и *IV* одинаковы по форме, но аберрация больше у линзы *II*, обращенной к объекту плоской стороной.

Рассеивающие линзы, или, как их называют, отрицательные, т. е. линзы, у которых середина тоньше, чем края, тоже обладают сферической аберрацией, но обратного направления по сравнению с собирательными линзами: точки F_2 , F_3 и F_4 (см. рис. 11) будут у них лежать соответственно правее точки F_1 . Поэтому для исправления сферической аберрации собирательных линз пользуются линзами рассеивающими, подбирая их так, чтобы для какой-либо определенной высоты входа луча величины сферической аберрации как отрицательной (рассеивающей) линзы, так и положительной (собирательной) линзы были одинаковыми и взаимно уничтожались. При этом, конечно, отрицательная линза по оптической силе должна быть слабее, чем положительная. Это вполне возможно, так как оптическая сила зависит от сорта стекла, из которого сделана линза, а величина сферической аберрации зависит только от формы и положения линзы.

Однако полное исправление сферической аберрации может быть достигнуто лишь для какой-либо одной кольцевой зоны; для других же зон аберрация при этом уменьшится, но полностью не устранился.

Сферическая аберрация в объективах обычно полностью бывает устранена для самой крайней зоны.

На рис. 13 видно, что аберрация полностью устранена для зоны 4. Лучи, преломленные этой зоной, пересекаются в точке F_1 , где пересекаются лучи, преломленные центральной зоной объектива.

Поэтому следует принимать во внимание, что незначительное диафрагмирование объектива в ряде случаев влечет уменьшение резкости изображения, так как при этом срезаются диафрагмой как раз те лучи, для которых достигнуто исправление сферической аберрации. Это явление ощутимо, например, при работе объективами «Индустар-10»

(аппарат «ФЭД») и «Индустар-22» (аппараты «Зоркий» и «Зенит»), которые при диафрагмировании до отметки 4—4,5 дают менее резкий рисунок, чем при полном открытии диафрагмы (отметка 3,5). Дальнейшее диафрагмирование вновь

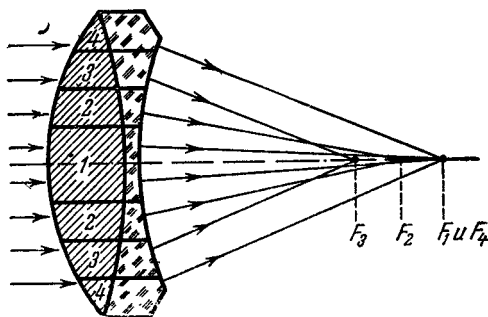


Рис. 13. Исправление сферической аберрации

повышает резкость рисунка за счет значительного уменьшения диаметра действующего отверстия объектива. (Здесь имеется в виду лишь резкость изображения предметов, на-

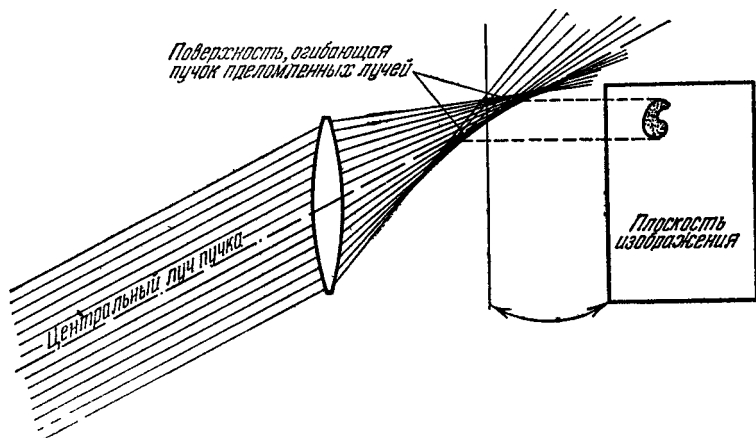


Рис. 14 Схема комы

ходящихся в плоскости наводки, т. е. в плоскости, сопряженной с плоскостью изображения. О влиянии диафрагмирования на глубину резкости см. стр. 69).

При сферической аберрации пучка лучей, наклонного к оптической оси, поверхность, огибающая совокупность

преломленных лучей, не симметрична по отношению к центральному лучу пучка и поэтому точки предмета, лежащие в стороне от оптической оси, изображаются в плоскости светочувствительного материала не в виде кружков, а в виде фигур рассеяния замысловатых форм.

Это явление называется *комой* (рис. 14). При наличии комы рисунок изображения в своих краевых частях нечеток, расплывчат.

В объективах кома исправляется также подбором линз, но подбор этот осуществляется по другому расчету, чем для исправления сферической аберрации. Поэтому в некоторых объективах при достаточно хорошо исправленной сферической аберрации кома остается неисправленной или исправленной не столь значительно.

Астигматизм и кривизна поля изображения

При наблюдении на матовом стекле изображения, даваемого простой положительной линзой, нетрудно обнаружить, что изображение не лежит в одной плоскости: если матовое стекло установить так, чтобы получилось резкое изображение в центре, то края изображения будут нерезкими, если же матовое стекло приблизить к линзе, то резкость крайних частей изображения улучшится, но при этом будет нерезкой центральная его часть. Кроме того, в краевых частях изображения вообще невозможно получить одновременной резкости вертикальных и горизонтальных линий.

Явление это называется *астигматизмом*.

Причина астигматизма заключается в том, что конусообразный пучок лучей, падающих от точки предмета на линзу наклонно к ее оптической оси, дает после преломления не одну точку схода лучей, а две точки, одна из которых ближе к линзе, а другая дальше от нее.

На рис. 15 видно, что среди лучей конусообразного пучка, падающего на линзу от точки B предмета, можно выделить две ленточки лучей, первая из которых, ленточка NBN_1 , встречает поверхность линзы по линии NON_1 , а вторая ленточка — MBM_1 — по линии MOM_1 . Поверхность линзы представляет собой часть шарообразной поверхности, для которой пояс NON_1 (продолжите линию NON_1 мысленно до полной окружности) является параллелью, а пояс MOM_1 — меридианом. Всякая же параллель (кроме экватора) имеет большую кривизну, чем меридиан, а следо-

вательно, для первой ленточки лучей преломляющая сила линзы будет больше, а для второй — меньше, и точка B_1 будет лежать ближе к линзе, чем точка B_2 .

Чем под бóльшим углом к оптической оси падает на линзу пучок лучей, тем бóльшая кривизна линий NON_1 будет

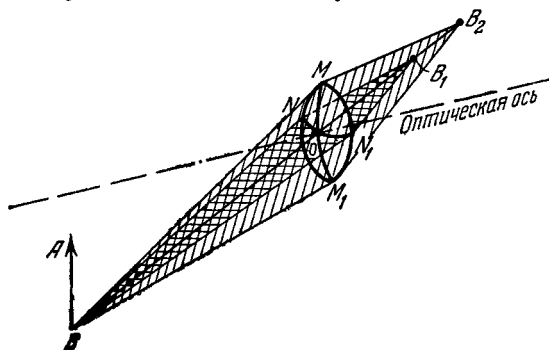


Рис. 15. Схема астигматизма

определять для него преломляющую силу линзы и тем больше будет расстояние между точками B_1 и B_2 . Для пучка лучей, параллельного оптической оси, обе точки схода — B_1 и

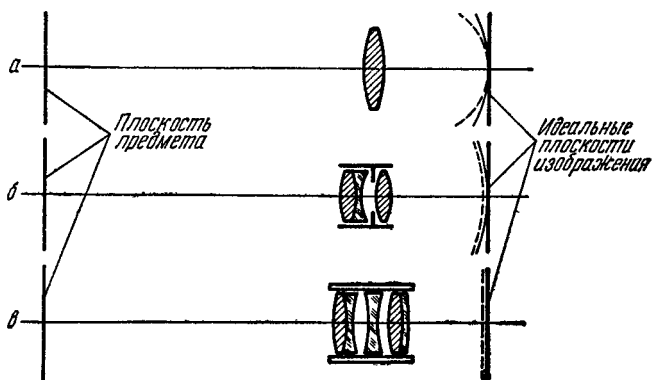


Рис. 16. Исправление астигматизма и кривизны поля изображения

B_2 — совпадут в одну точку, так как для этого пучка кривизна NON_1 окажется частью экватора и будет одинакова по форме с кривизной MOM_1 . (Поэтому в центре изображения астигматизма и не наблюдается.)

Таким образом, вместо одного изображения плоского

предмета линза дает два изображения. Оба изображения к тому же не являются плоскими, а представляют собой по форме как бы чаши (рис. 16, а).

Исправление астигматизма в объективах достигается весьма сложным путем подбора линз в соответствии со строгим расчетом.

Если при соответствующем подборе линз удалось достичь совпадения положения обеих «чаш», то такой объектив дает одинаково резкое изображение и вертикальных и горизонтальных линий (рис. 16, б). Однако одинаковой резкости по центру изображения и по краям он дать не может. Такой объектив называют астигматически исправленным, но в нем остается кривизна поля изображения.

Если в объективе почти достигнуто то, что оба изображения не только совпадают между собой, но, кроме того, являются еще и плоскими, то такой объектив свободен и от астигматизма и от кривизны поля изображения и называется анастигматом (рис. 16, в).

Однако следует знать, что абсолютного исправления астигматизма и кривизны поля изображения одновременно достичь не удастся и остатки этих aberrаций присущи в той или иной мере даже лучшим объективам — анастигматам. Наиболее часты остатки этих aberrаций в объективах широкоугольных.

Дисторсия

Дисторсией называется aberrация, в силу которой изображение геометрически не подобно предмету. Влияние дисторсии на изображение наиболее заметно тогда, когда очертания предмета содержат прямые линии (например, архитектурные сооружения, чертежи и пр.). Прямые линии предмета при наличии дисторсии в объективе получаются на изображении изогнутыми.

По своему характеру дисторсия бывает двух видов: бочкообразная и подушкообразная. Характер дисторсии связан с расположением диафрагмы. Так, например, простая положительная линза с диафрагмой, расположенной впереди, дает изображение прямоугольного предмета, похожее на бочку, а с диафрагмой, расположенной сзади, — похожее на подушку (рис. 19).

Причина дисторсии показана на рис. 20. Вначале представим себе, что линза применяется без диафрагмы и на

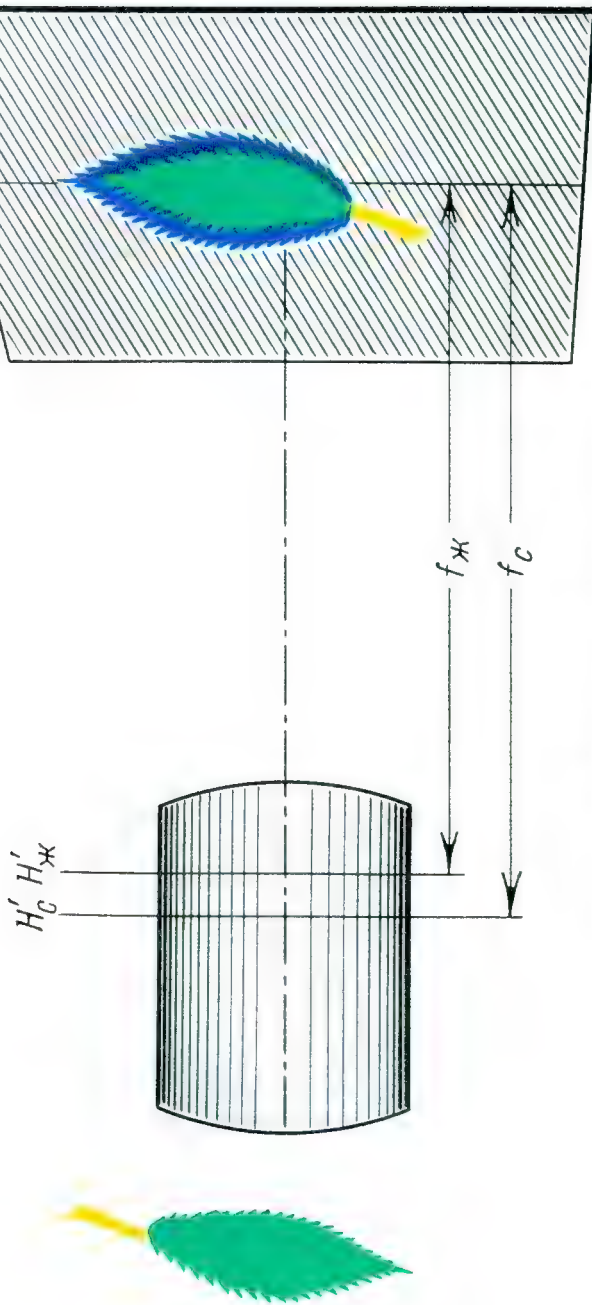


Рис. 18. Схема хроматической разности величин изображений:

$H'_Ж$ — задняя главная плоскость для желтых лучей;

H'_C — задняя главная плоскость для синих лучей;

$f_Ж$ — фокусное расстояние для желтых лучей;

f_C — фокусное расстояние для синих лучей

нее падает расходящийся конусообразный пучок от точки A предмета AB .

После преломления лучи пучка 1, 2 и 3 соберутся в точке A_1 , которая вследствие кривизны поля изображения находится несколько ближе к линзе, чем пластинка или пленка, и пойдут далее расходящимся пучком, образовав на светочувствительном слое изображение точки A в виде кружка с диаметром I—III. Теперь поместим перед линзой диафрагму. Диафрагма срежет часть конусообразного пучка, идущего

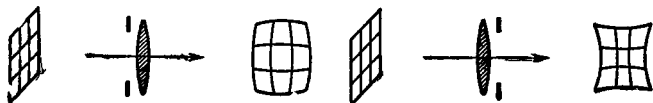


Рис. 19. Схемы дисторсии

щего от точки A , и на линзу упадут лишь лучи, заключенные в части конуса между лучами 2 и 3 (на рисунке эта часть заштрихована). На светочувствительном слое изображение точки будет теперь в виде кружка с меньшим диаметром:

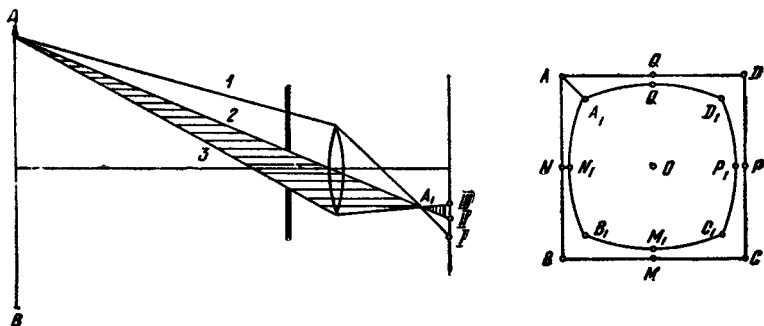


Рис. 20. Схема бочкообразной дисторсии

II — III, и расположится это изображение ближе к оптической оси, т. е. к центру пластинки. Построив несколько аналогичных чертежей, легко убедиться, что чем дальше точка A лежит от оптической оси, т. е. чем под большим углом падают от нее лучи на линзу, тем больше будет смещение изображения к центру пластинки.

На рис. 20 $ABCD$ есть изображение квадрата, полученное при отсутствии диафрагмы. В присутствии диафрагмы изображение квадрата несколько уменьшится в размере и

примет бочкообразную форму, так как точки A, B, C и D , находящиеся дальше других от оптической оси, получают большие смещения к центру O , чем точки M, N, P и Q . Разность отрезков AA_1 и NN_1 и обусловит степень дисторсионного искажения.

При помощи аналогичного построения легко убедиться, что при диафрагме, расположенной позади линзы, изображение квадрата приобретает подушкообразную форму.

Наилучшим образом дисторсия бывает исправлена в симметричных объективах с диафрагмой, расположенной в середине между двумя одинаковыми оптическими компонентами. Если при применении симметричного объектива предмет и его изображение расположены также симметрично (при

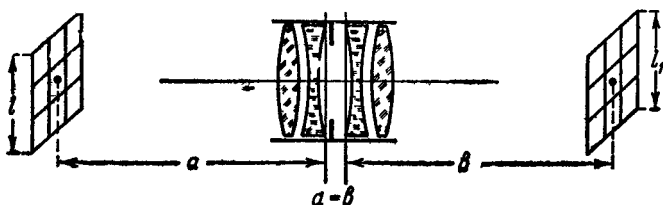


Рис. 21. При съемке симметричным объективом предмета в натуральную величину дисторсия отсутствует

съемке в натуральную величину), то достигается полное исправление дисторсии (рис. 21).

Иногда для укрупнения масштаба изображения пользуются одной половиной симметричного объектива, вывернув другую.

В этом случае нужно иметь в виду, что диафрагма окажется или впереди, или сзади объектива (в зависимости от того, какая половина удалена) и появится дисторсия (или бочкообразная, или подушкообразная).

В несимметричных объективах исправить дисторсию полностью не удастся. Лучшее исправление дисторсии в объективах несимметричной конструкции достигается для определенного положения предмета. Так, например, в большинстве универсальных фотообъективов дисторсия бывает лучше всего исправлена для случая бесконечно удаленного предмета и хуже всего — для случая съемки в натуральную величину. (Поэтому и не рекомендуется этими объективами производить крупномасштабные съемки). Плохо устранима дисторсия в широкоугольных объективах.

Хроматическая aberrация и хроматическая разность величин изображений

Преломляющая сила линзы по отношению к лучам различных цветов неодинакова. Сильнее других лучей линза преломляет лучи фиолетовые, а слабее — красные.

Единый пучок лучей сложного цвета разлагается линзой при преломлении на целый ряд пучков элементарных цветов, каждый из которых после преломления имеет свою точку схода. Поэтому если плоский предмет сложноцветен, то изображение его не может расположиться в одной плоскости; получается вместо одного изображения целый ряд изображений, как бы нанизанных на оптическую ось.

Каждое из этих изображений одноцветно, и изображены в нем лишь те части предмета, в составе которых имеется данный цвет. Располагаются изображения в том порядке, в каком расположены цвета в спектре, — от фиолетового до красного.

Явление это называется **хроматической aberrацией** (см. рис. 17).

На светочувствительном слое резким получается лишь одно изображение. На это изображение накладываются все остальные, которые в этой плоскости нерезки.

Величина хроматической aberrации измеряется расстоянием по оптической оси между точками фокусов крайних цветовых лучей. Чаще оценивают хроматическую aberrацию по расстоянию между точками фокусов синих и красных лучей. (На рис. 17 это расстояние между плоскостями *С* и *К*.)

Распределение мест одноцветных изображений в границах между синим и красным изображениями не всегда одинаково, хотя и имеет постоянный порядок. Так, например, расстояние между плоскостями *С* и *Ж* (рис. 17) может быть больше расстояния между плоскостями *Ж* и *К*, а может быть, наоборот, меньше его.

Как величина, так и характер хроматической aberrации зависят от сорта стекла, из которого сделана линза. Этим и пользуются для исправления хроматической aberrации в объективах.

Исправление достигается путем соединения положительных и отрицательных линз из разных сортов стекла. Подбирая отрицательную линзу к положительной (причем, конечно, меньшей оптической силы, чем положительная линза) **таким образом, чтобы в системе совпали фокусы лучей**

каких-либо двух цветов, получают ахроматически исправленный объектив, или а х р о м а т. Если удастся достичь совпадения фокусов лучей трех цветов, то получают апохроматически исправленный объектив, или а п о х р о м а т. Однако для апохроматического исправления чаще всего приходится соединять не две, а три линзы. Подбор линз очень сложен, особенно потому, что приходится учитывать необходимость одновременного исправления нескольких аберраций.

Объектив, исправленный для лучей двух цветов, все-таки дает хроматическую аберрацию лучей других цветов спектра. Эта остаточная аберрация называется в т о р и ч н ы м с п е к т р о м. Вполне понятно, что вторичный спектр остается и при апохроматическом исправлении, но в этом случае он настолько незначителен, что на изображение практически не влияет.

В некоторых объективах не осуществлено совмещение фокусов даже для лучей двух цветов, но величина хроматической аберрации (на рис. 17 — расстояние $СК$) доведена до столь малой величины, что они пригодны для цветной съемки.



Объективы с исправленной хроматической аберрацией могут быть несвободными еще от одного хроматического недостатка, называемого х р о м а т и ч е с к о й р а з н о с т ь ю в е л и ч и н и з о б р а ж е н и й, вследствие чего контуры отдельных частей рисунка в краевых участках изображения оказываются окруженными цветной каймой.

Происходит это потому, что положение задней главной точки объектива неодинаково для лучей различных цветов (см. рис. 18). Поэтому даже в случае совмещения точек фокусов фокусные расстояния для лучей этих цветов оказываются различными, а это значит, что и размеры изображений будут различны. На светочувствительном слое, помещенном в плоскости совмещенных изображений, оба изображения будут резкими, но то изображение, которое больше по размеру, образует резкую цветную кайму.

Объективы, у которых исправлены обе хроматические погрешности, причем для любых расстояний до предмета, называются с т а б и л ь н о а х р о м а т и з о в а н н ы м и.

Большинство фотообъективов не являются стабильно ахроматизованными, но хроматическая разность величин изображений доводится в них до величины, обеспечивающей достаточно хороший результат при практической работе.

ГЛАВА III

РАЗРЕШАЮЩАЯ СИЛА ОБЪЕКТИВА

От того, в какой мере объектив свободен от аберраций, зависит четкость даваемого им рисунка.

Для сравнения объективов друг с другом по четкости рисунка введено понятие разрешающей силы объектива.

Под разрешающей силой объектива понимается максимальное число линий, которое объектив способен изобра-

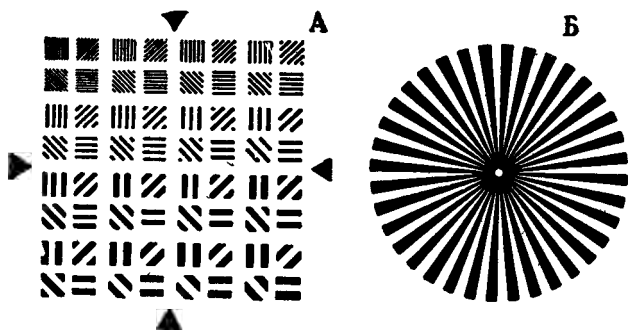


Рис. 22. Типы мир:
А — штриховая мира; Б — радиальная мира

зить отдельно на 1 мм длины в плоскости изображения (при условии, что ширина линий равна ширине промежутков между ними). Измеряется разрешающая сила при помощи мир, т. е. испытательных таблиц. Миры применяются самых разнообразных видов. На рис. 22 приведены два наиболее распространенных типа мир.

Определяют разрешающую силу двояко: 1) визуально, т. е. путем непосредственного наблюдения через микроскоп изображения миры, полученного при помощи испытуемого

объектива; 2) фотографически, т. е. путем съемки мира испытуемым объективом.

При визуальном способе результаты не зависят от качеств фотографической эмульсии, и численно разрешающая сила получается больше, чем при определении ее фотографическим способом, но все равно объектив, показавший большую разрешающую силу в оптическом изображении, обеспечит большую разрешающую силу и на снимке. В справочниках чаще приводятся данные, полученные фотографическим путем.

Зачастую данные о разрешающей силе того или иного объектива, приведенные в разных книгах или справочниках, не совпадают. Происходит это потому, что количественное выражение разрешающей силы зависит от условий, в которых производились испытания (источник света, дистанция съемки, светочувствительный материал, рецептура, режим обработки и пр.), а условия эти, к сожалению, пока не стандартизованы.

Разрешающая сила снижается к краям изображения, так как большинство аберраций сказывается именно на краевых участках поля. Поэтому в справочниках и каталогах приводятся обычно два значения разрешающей силы: для центра и для края поля определенного размера.

Для более полной осведомленности об объективе небезынтересно знать также промежуточные значения разрешающей силы, чтобы иметь представление о характере ее спада от центра изображения к краям. Исследования показывают, что характер спада разрешающей силы у разных объективов не одинаков: одни объективы дают равномерно четкое изображение на большой площади снимка и заметное снижение четкости к самым краям его, для других объективов характерна постепенность снижения четкости, начинающаяся почти от самого центра снимка.

Для фотолюбителя не представит значительной сложности способ определения разрешающей силы по зонам поля изображения путем съемки таблицы, составленной из нескольких радиальных мир.

Изготовление радиальных мир

Изготавливать миры нужно очень тщательно, так как необходимо, чтобы границы штрихов до самого центра были вполне четкими.

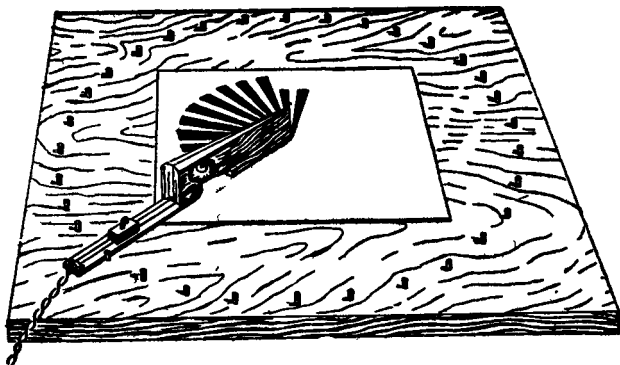


Рис. 23. Изготовление мпр

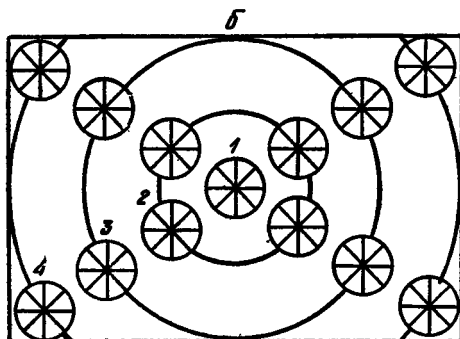
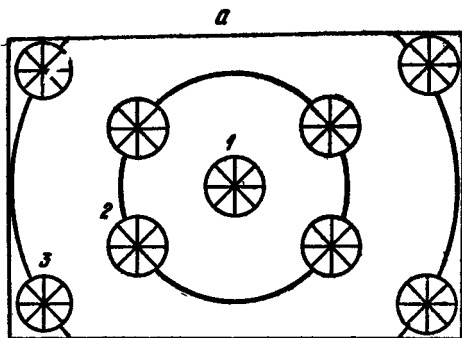


Рис. 24. Способы размещения мпр на испытательном щите

Лучшим и наиболее простым способом является способ печатания мир на фотобумаге последовательным экспонированием каждого луча фонариком, имеющим клиновидную щель и вращающимся вокруг оси. Точные положения при экспозиции обеспечиваются тридцатью шестью штифтами, расположенными по окружности строго через 10° друг от друга (рис. 23).

Изготовленные миры числом 9 или 13 монтируются на плоском щите, который геометрически подобен кадру камеры, т. е. имеет такое же соотношение сторон. Например, для испытания объектива в аппарате «Зоркий», где кадр имеет размеры 24×36 мм, можно взять щит размером $2,4 \times 3,6$ м, т. е. по линейным размерам в 100 раз больший, чем кадр в этом аппарате.

Монтируются миры с таким расчетом, чтобы было возможно получить характеристику разрешающей силы по нескольким зонам кадра (рис. 24): *а* — по трем зонам, *б* — по четырем зонам кадра.

Условия съемки мир

При съемке щита нужно строго соблюдать параллельность плоскостей щита и фотопленки. Центр средней миры должен находиться на оптической оси объектива, т. е. ее изображение должно получаться точно в центре кадра. Щит должен точно вписываться в кадр.

Снимать щит с мирами рекомендуется на тех самых пластинках (или пленках), которыми намечено пользоваться при последующих практических съемках. Экспозиция при съемке должна быть нормальной, т. е. негатив, проявленный при нормальном режиме, должен обладать достаточным контрастом — черные части миры должны быть прозрачными, а светлые части миры должны обладать достаточной плотностью.

При всех испытаниях условия съемки, материалы, рецептура и режим обработки должны быть строго стандартизованы.

Для измерений полученный негатив ставится в увеличитель, который регулируется на точно отмеренное увеличение (например, в 5 или 10 раз). В качестве экрана берется гладкая белая бумага. Измерения можно производить непосредственно на экране, не изготавливая отпечатка.

Изображение каждой миры можно представить как бы состоящим из ряда концентрических колец (рис. 25), каждое из которых представляет кольцообразную полосу, состоящую из 36 штрихов и 36 равных им по ширине промежутков.

По мере приближения к центру полосы становятся более короткими, а штрихи и промежутки на них более тонкими. На некотором расстоянии от центра штрихи и промежутки начинают сливаться, образуя сплошное серое поле.

Нужно найти наиболее близкое к центру кольцо, в котором еще можно различить чередование темных и светлых полос, или, иначе говоря, найти границу сплошного серого круга, внутри которого уже не различаются лучи миры. Измерив диаметр этого серого круга в миллиметрах и умножив его на 3,14, определим длину окружности, т. е. длину полосы, на протяжении которой 36 штрихов и 36 промежутков еще разрешаются данным объективом. Разделив эту длину на величину увеличения, узнаем ее размеры на негативе. Теперь, разделив число 36 на длину полосы в миллиметрах, получим разрешающую силу в линиях на 1 мм.

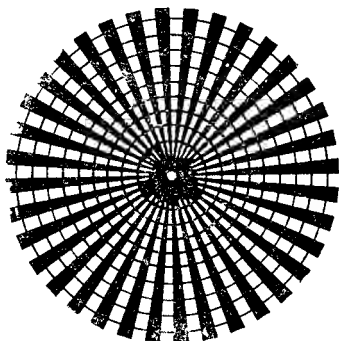


Рис. 25. К способу подсчета разрешающей силы

Например, негатив испытательного щита рассматривается на экране увеличителя при десятикратном увеличении; диаметр сплошного серого круга на изображении центральной миры оказался равным 4 мм, на изображениях промежуточных мир — 5 мм, а на изображениях крайних мир — 7 мм. Умножив полученные числа на 3,14, получим соответствующие этим диаметрам длины окружностей: $4 \text{ мм} \times 3,14 = 12,6 \text{ мм}$; $5 \text{ мм} \times 3,14 = 15,7 \text{ мм}$; $7 \text{ мм} \times 3,14 = 22,0 \text{ мм}$.

Разделив все эти числа на 10, получим длины соответственных окружностей на негативе: они будут равны 1,26, 1,57 и 2,2 мм. Значит, 36 линий разрешены в центре на длине 1,26 мм, в промежуточной зоне — на 1,57 мм и по краям — на 2,2 мм.

Отсюда разрешающая сила в центре поля: $\frac{36}{1,26} = 29$ линий на 1 мм, в промежуточной части поля: $\frac{36}{1,57} = 23$ линии на 1 мм и по краям поля: $\frac{36}{2,2} = 16$ линий на 1 мм.

При повторных измерениях нет надобности в последовательном повторении всех вычислений, так как легко найти постоянное число, которое при делении на диаметр сплошного круга, измеренный в миллиметрах на экране увеличителя, дает в частном сразу величину разрешающей силы в линиях на миллиметр негатива. Так, для случая, рассмотренного в предыдущем примере, т. е. когда измерение производится при десятикратном увеличении негатива, это число равно 115:

$$115:4 = 29 \text{ линий на мм};$$

$$115:5 = 23 \text{ линии } \gg \gg ;$$

$$115:7 = 16 \text{ линий } \gg \gg .$$

Измеренная подобным образом разрешающая сила будет отличаться от указанной в паспорте испытуемого объектива, так как она характеризует суммарную степень четкости изображения, зависящую от качества обоих объективов (в съемочном аппарате и в увеличителе), что не плохо, а хорошо, так как это как раз та степень четкости, которая будет получаться при практической съемке с последующим увеличением.

В заключение следует сказать, что хотя разрешающая сила объектива и является одной из наиболее обобщающих его характеристик, тем не менее по одной лишь разрешающей силе нельзя вынести окончательного суждения о качестве изображения, которое способен дать объектив. Качество изображения во многом зависит от характера объекта и от того, как сочетается характер объекта со степенью тех или иных аберраций, присущих объективу, которым этот объект снимается.

Так, например, при съемке объективом, у которого плохо исправлена хроматическая аберрация, объекты с яркой разноцветной окраской будут выходить менее резкими, чем объекты одноцветные, хотя разрешающая сила объектива — величина для этого объектива постоянная. Таким образом, вопреки обычным представлениям, разрешающая сила не является исчерпывающим критерием для суждения о резкости изображения, даваемого объективом; поэтому переоценивать данные о разрешающей силе не следует.

ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ ОБЪЕКТИВА И МАСШТАБ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Фокусное расстояние является основной характеристикой объектива.

От фокусного расстояния объектива зависит масштаб изображения, т. е. степень уменьшения снимаемых предметов при изображении сравнительно с их натуральными размерами.

Сравнивая снимки, сделанные с одной и той же точки, но объективами с различными фокусными расстояниями,

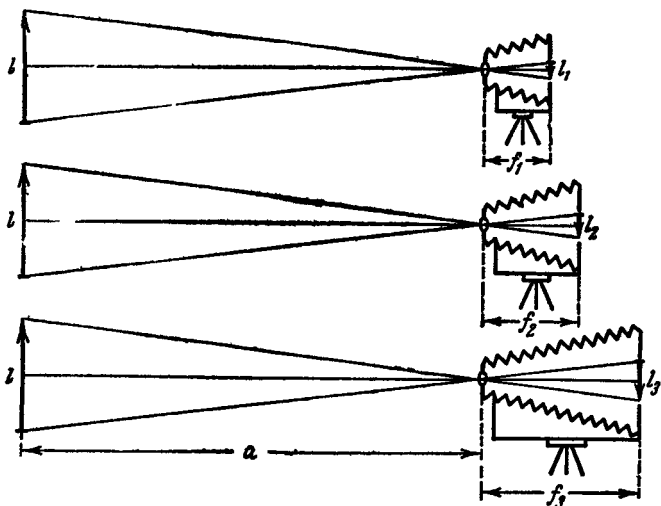


Рис. 26. Зависимость размера изображения от фокусного расстояния объектива

мы видим, что изображение тем крупнее, чем больше фокусное расстояние объектива, примененного при съемке (рис. 27, стр. 32).

Если снят предмет, достаточно удаленный (как, например, в приведенных снимках), то, сравнив размеры какой-нибудь детали на всех снимках, легко убедиться, что размеры эти находятся между собой в таком же соотношении, как и фокусные расстояния соответствующих объективов. Причины этого понятны из рис. 26.

Поскольку точка съемки (т. е. положение объектива) и предмет находятся на постоянных местах, то треугольники левой части (в пространстве предметов) на всех трех чертежах равны между собой. Каждый из треугольников правой части (в пространстве изображений) подобен треугольнику левой части. Следовательно, все три треугольника правой части подобны друг другу. Значит, $l_1 : l_2 : l_3 = f_1 : f_2 : f_3$.

В первой главе было сказано, что размер изображения зависит также от удаленности снимаемого предмета: чем предмет дальше от объектива, тем меньше размер его изображения.

Для простейших практических расчетов полезно выразить общую зависимость между размером изображения, размером предмета, фокусным расстоянием объектива и расстоянием от предмета до объектива. Эта зависимость непосредственно следует из подобия треугольников (см. рис. 26) и выражается пропорцией

$$\frac{l_1}{l} = \frac{f}{a},$$

где l_1 — размер изображения предмета (на рис. также l_2 и l_3);

l — натуральный размер предмета;

f — фокусное расстояние объектива (на рис. f_1 , f_2 и f_3);

a — расстояние от предмета до объектива.

Эту зависимость удобно выразить словами так: *изображение во столько раз меньше предмета, сколько фокусных расстояний укладывается между объективом и предметом.*

Отношение размера изображения к натуральному размеру предмета, т. е. величина $\frac{l_1}{l}$, называется **масштабом изображения** *.

Выражать масштаб изображения принято дробью с числителем 1.

Если, например, изображение человека ростом 170 см равно 17 мм, то масштаб изображения равен:

$$\frac{17 \text{ мм}}{1700 \text{ мм}} = \frac{1}{100}, \text{ или } 1:100.$$

* В оптике эта величина называется «линейное увеличение» или «поперечное увеличение».

Число, обратное масштабу (в нашем примере 100), называют «знаменатель масштаба». Мы будем его называть просто «уменьшение» и обозначать буквой m . Практические расчеты очень просты.

Например: 1. Нужно снять всадника на лошади (его высота 2,4 м) так, чтобы изображение на пленке было по высоте 16 мм.

Прежде всего определим уменьшение:

$$m = \frac{2400}{16} = 150.$$

Следовательно, снимать нужно с дистанции в 150 фокусных расстояний.

Значит, если будем применять объектив $f=50$ мм, то нужно снимать с расстояния $50 \text{ мм} \times 150 = 7,5 \text{ м}$.

2. Предположим, что расстояние до объекта задано, т. е. снимать можно лишь с определенной точки, например с расстояния 20 м от дорожки, по которой проедет всадник; размер изображения желательно иметь по высоте 16 мм. Требуется подобрать объектив соответствующего фокусного расстояния.

Исходим опять-таки из величины уменьшения $m=150$. В 20 м фокусное расстояние должно уложиться 150 раз. Следовательно:

$$f = \frac{20\,000}{150} \approx 133 \text{ мм}.$$

Если в наборе есть объектив $f=135$ мм, то его и нужно применить.

Приведенный расчет не является расчетом точным, так как он выведен, исходя из предположения, что изображение расположено в фокальной плоскости. Точность расчета вполне достаточна, если предмет находится не ближе, чем на 20—30 фокусных расстояний от объектива.

При съемке более близких предметов плоскость изображения не совпадает с фокальной плоскостью, она лежит дальше от объектива и для точности расчета нужно бы в приведенной выше пропорции вместо f брать b (см. рис. 10); но расстояние b практически измерить трудно, поэтому, выразив его, пользуясь основной формулой линзы (стр. 9), через a и f , подставим в нашу пропорцию. Сделав простейшие преобразования, получим:

$$\frac{l_1}{l} = \frac{f}{a - f}.$$

Эту зависимость можно выразить так: *изображение во столько раз меньше предмета, сколько фокусных расстояний без одного укладывается между предметом и объективом.*

Сравнив нашу прежнюю пропорцию и новую, легко заметить, что можно пользоваться и прежней, но отсчет расстояния нужно вести не от объектива, а от точки переднего фокуса, тогда как раз и выйдет «без одного».

Например, желая получить изображение предмета в масштабе $1:4$, его нужно снимать с расстояния $5f$ от объектива (от точки переднего фокуса до предмета в этом случае как раз и уложатся четыре фокусных расстояния). Желая изобразить предмет в масштабе $1:1$, т. е. в натуральную величину, его нужно снимать с расстояния $2f$ от объектива и т. д.

Изменение фокусного расстояния объектива насадочными линзами

Для изменения фокусного расстояния объектива пользуются насадочными линзами.

При применении положительной (собирающей) линзы фокусное расстояние уменьшается, а при применении отрицательной (рассеивающей) — увеличивается.

Расчет удобнее всего производить, исходя из оптических сил линзы и объектива.

Оптическая сила системы (объектив+линза) равна сумме оптических сил компонентов.

Оптическая сила положительной линзы при расчете берется со знаком плюс, а оптическая сила отрицательной линзы — со знаком минус.

Например: 1. На объектив, фокусное расстояние которого равно 105 мм , надета отрицательная насадочная линза, имеющая оптическую силу $D = -1,5$ диоптрии. Каково фокусное расстояние системы?

Оптическая сила объектива равна $\frac{1000}{105} \approx 9,5$ диоптрии.

Оптическая сила системы равна $9,5 - 1,5 = 8$ диоптриям.

Фокусное расстояние системы равно $\frac{1000}{8} = 125\text{ мм}$.

2. Какую насадочную линзу следует применить при объективе, фокусное расстояние которого равно 110 мм , чтобы фокусное расстояние системы оказалось равным 80 мм ?

Оптическая сила объектива равна $\frac{1000}{110} \approx 9$ диоптрий.

Оптическая сила системы должна быть равна $\frac{1000}{80} = 12,5$ диоптрий.

Оптическая сила линзы должна быть равна $12,5 - 9 = +3,5$ диоптрий.

Подобные расчеты будут верны лишь в случае, если линза помещена вплотную к объективу.

При наличии промежутка между объективом и линзой расчет производится по следующей формуле:

$$f_c = \frac{f_o \cdot f_{\lambda}}{f_o + f_{\lambda} - d},$$

где f_c — фокусное расстояние системы;

f_o — фокусное расстояние объектива;

f_{λ} — фокусное расстояние насадочной линзы;

d — промежуток между объективом и линзой *.

Для укрупнения изображения есть два прямых пути: 1) увеличение фокусного расстояния объектива отрицательной линзой, 2) приближение к снимаемому предмету. В том и другом случае одновременно с укрупнением размера изображения плоскость изображения отдалается от объектива.

В некоторых фотоаппаратах расстояние между объективом и плоскостью изображения не может быть значительно увеличено, и это обстоятельство лишает возможности получать изображения достаточно крупного масштаба.

Так, например, фотографируя аппаратом «Любитель», можно получить наибольшую величину изображения в $\frac{1}{1,6}$ натуральной величины предмета, снимая с расстояния 1,3 м, так как при фокусном расстоянии объектива 75 мм максимальное растяжение камеры всего лишь 80 мм (от задней главной плоскости объектива до плоскости фотопленки). Снимать ближе, чем с 1,3 м, или присоединять к объективу отрицательную линзу нельзя, так как и то и другое потребовало бы большего растяжения, чем 80 мм.

* Строго говоря, величина d есть промежуток между задней главной плоскостью линзы и передней главной плоскостью объектива, и этот промежуток имеется, даже если линза поставлена вплотную к объективу. При практических расчетах этим можно пренебречь, кроме случаев, когда главные плоскости объектива значительно вынесены вперед или назад (см. рис. 7 и 8).

В подобных случаях для укрупнения изображения прибегают к третьему способу, на первый взгляд несколько парадоксальному, — не увеличивают фокусное расстояние объектива, а, наоборот, уменьшают его присоединением к объективу положительной линзы. Изображение при этом, конечно, становится еще мельче (если снимать с той же точки), но зато появляется возможность весьма значительно приблизить фотоаппарат к снимаемому предмету (так как теперь растяжение камеры намного превышает фокусное расстояние). Это последнее обстоятельство перекрывает первое.

Приведем пример расчета для такого случая.

К объективу фотоаппарата «Любитель» ($f=75$ мм) присоединили положительную линзу $D=+2,5$ диоптрии. С какого ближайшего расстояния при этом можно снимать предмет и каков будет масштаб изображения?

Оптическая сила объектива равна $\frac{1000}{75} \approx 13,3$ диоптрии.

Оптическая сила системы равна $13,3 + 2,5 = 15,8$ диоптрии.

Фокусное расстояние системы равно: $\frac{1000}{15,8} \approx 63$ мм.

Зная фокусное расстояние системы ($f=63$ мм) и зная максимальное расстояние от задней главной плоскости до плоскости изображения ($b=80$ мм), по основной формуле линзы найдем расстояние от передней главной плоскости объектива до снимаемого предмета:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{80} = \frac{1}{63}; \quad \frac{1}{a} = \frac{1}{63} - \frac{1}{80} \approx \frac{1}{300}; \quad a \approx 300 \text{ мм} = 30 \text{ см.}$$

Поскольку уменьшение предмета равно числу фокусных расстояний, укладываемых между предметом и объективом, без единицы, то

$$m = \frac{300}{63} - 1 \approx 5 - 1 = 4,$$

т. е. изображение будет составлять $\frac{1}{4}$ натуральной величины предмета.

Проведя расчет в обратном порядке, можно определить необходимую оптическую силу линзы для получения желаемого масштаба изображения.

Точность расчета вполне достаточна для подбора линзы. При съемке же в ряде случаев требуется незначительная



А — объектив с фокусным расстоянием 35 мм



Б — объектив с фокусным расстоянием 58 мм

Рис. 27. Фото *А*, *Б*, *В*, *Г* сняты с одной точки объективами разных фокусных расстояний



В — объектив с фокусным расстоянием 85 мм



Г — объектив с фокусным расстоянием 135 мм

Рис. 27. Фото А, Б, В, Г сняты с одной точки объективами разных фокусных расстояний

поправка в фокусировке или же изменение расстояния от предмета до фотоаппарата.

Поэтому насадочными линзами удобнее пользоваться, если аппарат имеет наводку по матовому стеклу.

При изготовлении насадочных линз из очковых стекол лучше пользоваться менисками, т. е. выпукло-вогнутыми стеклами.

Следует знать, что применение насадочных линз ухудшает качество изображения, так как при этом нарушается исправление аберраций, достигнутое в объективе; кроме того, при применении положительных линз увеличивается угол изображения объектива и вследствие этого очень значительно снижается резкость краевых частей снимка. Поэтому при съемке с насадочными линзами рекомендуется диафрагмировать объектив максимально, насколько позволяют условия освещения.

Применение промежуточных колец

Иногда возникает потребность получить крупное изображение, не прибегая к удлинению фокусного расстояния насадочными линзами, так как, во-первых, при удлинении фокусного расстояния объектива уменьшается глубина резко изображаемого пространства (о чем будет сказано ниже), а во-вторых, как уже было сказано, применение насадочных линз ухудшает качество изображения и требует сильного диафрагмирования, что не всегда возможно по условиям освещения.

Единственный остающийся путь — съемка с очень близкого расстояния — также не всегда возможен, так как большинство любительских фотокамер не имеет достаточного растяжения или выдвижения объектива.

Так, например, оправы объективов в фотоаппаратах «ФЭД» и «Зоркий» рассчитаны на съемку с дистанции не ближе 1 м, в фотоаппарате «Любитель» — с 1,3 м, а растяжение камеры «Москва» позволяет вести съемку только с расстояний от 1,5 м.

В этих случаях выход может быть найден в применении промежуточных колец, ввинчиваемых между объективом и камерой и удлиняющих таким образом расстояние между задней главной плоскостью объектива и плоскостью пленки.

Расчет нужной высоты кольца, т. е. величины удлинения, весьма несложен.

Прежде всего определяется потребное уменьшение $m = \frac{\ell}{\ell_1}$, т. е. отношение натуральной величины снимаемого объекта к желаемой величине изображения.

Затем по формуле $a = f(m+1)$ находится a , т. е. расстояние, с которого следует снимать.

Затем по основной формуле линзы находят $b = \frac{af}{a-f}$, т. е. нужное расстояние между задней главной плоскостью объектива и плоскостью пленки.

Если объектив установлен по шкале на отметку ∞ , то расстояние между задней главной плоскостью его и плоскостью пленки (без кольца) равно f . Следовательно, высота удлиняющего кольца при установке объектива на ∞ должна быть равна $h = b - f$.

Одни конструкторы предлагают заранее заготовить набор колец различной высоты для различных случаев съемки, другие советуют разработать конструкцию сборного кольца с изменяющейся высотой*.

ГЛАВА V

УГОЛ И ПОЛЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

При изучении вопросов, связанных с работой объектива, принято считать, что объектив как бы делит пространство на две половины. Ту часть пространства, которая находится перед объективом, т. е. где расположены предметы, изображение которых образует объектив, называют **пространством предметов**, или **предметным пространством**, а ту часть пространства, которая находится за объективом, т. е. где образуются изображения предметов, называют **пространством изображений**.

На чертежах и схемах предметное пространство принято располагать слева от объектива, а пространство изображений — справа от объектива и ход лучей считать, следовательно, слева направо.

* Более подробные сведения о съемке с насадочными линзами и промежуточными кольцами приведены в выпуске 5 «Библиотеки фотолюбителя» — «Специальные виды фотосъемки» и в выпуске 6 — «Репродукционная фотосъемка».

Если изображение, даваемое объективом или линзой, наблюдать на матовом стекле или экране достаточно большого размера, то окажется, что площадь, занимаемая изображением, имеет форму круга. Следовательно, объектив изображает не все предметное пространство, лежащее перед ним, а лишь некоторую часть его, ограниченную коническим (телесным) углом. Этот угол охвата предметного пространства объективом принято называть углом зрения объектива, а соответствующее ему круглое поле в фокальной плоскости — полем зрения объектива (рис. 28).

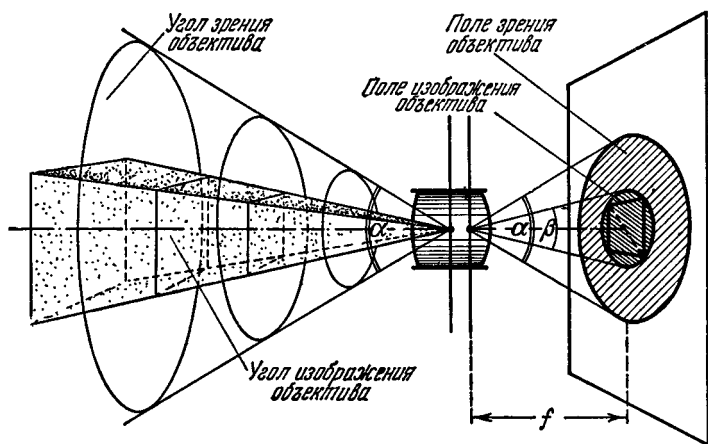


Рис. 28. Угол и поле зрения объектива. Угол и поле изображения объектива

Измерить угол зрения объектива можно в пространстве изображений, так как он равен углу, образованному линиями, соединяющими заднюю главную точку объектива с границами поля зрения. Выражают конический угол величиной плоского угла, вращение которого образует данный конический угол, т. е. величиной α .

Величина угла зрения объектива зависит от конструкции объектива. Так, например, простая положительная линза с тонкими краями без оправы имеет угол зрения, близкий к 180° , так как лучи, идущие от крайних точек пространства, получают свободный доступ через линзу к плоскости изображения. Если же линзу вмонтировать в оправу, то крайние лучи будут срезаться оправой и угол зрения уменьшится;

чем длиннее оправа, тем сильнее ограничит она угол зрения и поле зрения.

Изображение, даваемое объективом, не обладает одинаковыми качествами по всему полю; наибольшие резкость и освещенность изображения наблюдаются в центре поля; по мере удаления от центра резкость и освещенность изображения заметно снижаются, а у границ поля изображение бывает весьма расплывчатое и тусклое.

Так, например, на изображении, полученном при помощи простой линзы, границы поля невозможно даже установить вследствие значительной потери резкости и освещенности к краям поля.

Центральную часть поля зрения объектива, в пределах которой изображение обладает степенью резкости, достаточной для фотографических целей, и которая фактически используется в аппарате для получения изображения на светочувствительном материале, называют полем изображения объектива.

Угол, образованный лучами, соединяющими крайние точки поля изображения с задней главной точкой объектива, называется углом изображения объектива (рис. 28, угол β).

Размер поля изображения определяет собой максимальный размер кадра. Диагональ кадра не может быть больше диаметра поля изображения.

Если угол изображения объектива с учетом формата кадра (т. е. угол не конический, а четырехгранный) отложить симметрично в пространстве предметов, поместив вершину его в переднюю главную точку объектива, то заключенная в пределах этого угла часть пространства и будет изображена на снимке.

Углы изображения объективов

Угол изображения может быть вычислен, исходя из расстояния между задней главной плоскостью объектива и плоскостью изображения и из соответствующего размера кадра (по ширине, высоте или диагонали) (рис. 29).

Так, например, надо определить максимальный (по диагонали) угол изображения объектива $f=50$ мм в аппарате «Зоркий».

Размер кадра в камере 24×36 мм. Диагональ кадра равна

43,3 мм. Половина диагонали равна 21,6 мм:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{21,6}{50} = 0,43;$$

$$\theta = 23,5^\circ.$$

Угол изображения (2 θ) равен 47°.

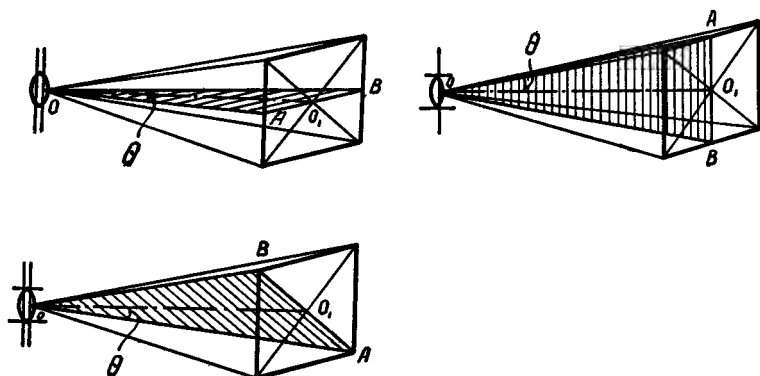


Рис. 29. Угол изображения объектива:

$OO_1=f$ (или ∞); AO_1 —половине размера кадра (по ширине, высоте, диагонали);
 θ — половина угла изображения

Приведенные в табл. 1 углы (стр. 38) вычислены для случая наводки на бесконечность. При наводке на резкость по близким предметам угол изображения объектива уменьшается, так как изображение располагается не в фокальной плоскости, а дальше от объектива, и расстояние OO_1 (см. рис. 29) больше фокусного расстояния.

Видоискатели

Для выбора точки съемки и построения кадра фотоаппараты снабжены видоискателями.

Необходимо, чтобы угол охвата пространства видоискателем точно совпадал как по величине, так и по направлению с углом изображения объектива.

Совпадение углов объектива и видоискателя рекомендуется каждому любителю проверить самостоятельно. В фотоаппаратах, имеющих наводку по матовому стеклу, проверка может быть произведена визуально — путем срав-

нения пространства, видимого глазом через видоискатель, и пространства, изображенного на матовом стекле при прочно установленной на штативе камере. В аппаратах, не имеющих наводки по матовому стеклу, проверка производится путем контрольной съемки.

Строго говоря, полного совпадения границ кадра, видимого через видоискатель, с границами кадра, полученного на светочувствительном слое пленки или пластинки, быть не может, так как оптические оси видоискателя и объектива

Т а б л и ц а 1

Величины углов изображения объективов наиболее распространенных фокусных расстояний

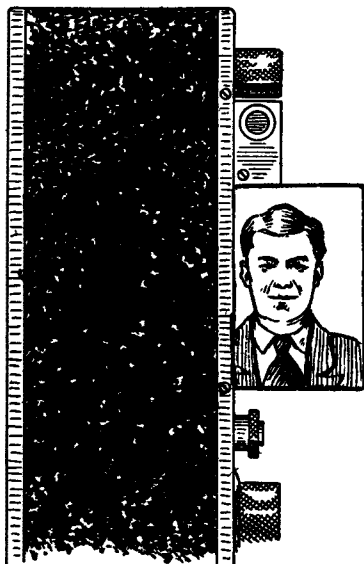
Фокусное расстояние объектива (в мм)	Угол изображения (в градусах)		
	по диаго- нали	по гори- зонталн	по вер- тикали
Размер кадра 24×36 мм (диагональ— 43,3 мм)			
20	94	84	62
25	81	71	51
28	75	65	46
35	64	55	38
50	47	40	27
58	40	34	23
85	29	24	16
135	18	15	10
300	8	7	4,5
500	5	4	3
1000	2,5	2	1,5
Размер кадра 6×9 см (диагональ — 10,8 см)			
105	54	46	32
120	48	41	28
135	44	37	25
Размер кадра 9×12 см (диагональ — 14 см)			
135	59	48	37
150	53	44	33
Размер кадра 13×18 см (диагональ — 22,2 см)			
210	56	46	35
300	41	33	24
Размер кадра 18×24 см (диагональ — 30,0 см)			
300	56	46	35

не совпадают. Это несовпадение границ называется п а р а л л а к с о м.

При съемке удаленных объектов параллакс незначителен и может не учитываться. При съемке же с близких расстояний, как, например, при съемке крупных планов, параллакс весьма ощутим и перед съемкой необходимо внести поправку. Поправка заключается в том, что объект располагают не



Чтобы получилось так



*Надо располагать
в видоискателе так*

Рис. 30. Кадрирование при съемке с близких расстояний

в том месте видимого в видоискателе кадра, где желательно получить его изображение, а несколько ближе к той границе кадра, которая обращена к объективу аппарата (рис. 30). Поправка должна быть тем больше, чем ближе снимаемый объект.

При контрольной съемке величина поправки на параллакс для данного аппарата определяется практическим путем для различных расстояний.

Надобность в поправке отпадает при работе однообъективными зеркальными камерами, так как визирование кадра в них происходит при посредстве того же самого объектива, который дает изображение на светочувствительном слое.

Для предварительной ориентировки на месте и для выбора точек съемок полезно иметь портативный визирный прибор, которым можно пользоваться отдельно от аппарата. Таким прибором является, например, универсальный видоискатель «ВУ» для аппаратов «Зоркий» и «Киев». Можно сделать и более простое, хотя менее портативное, визирное устройство рамочного типа со шкалой для объективов различных фокусных расстояний (рис. 31).

Производить расчеты углов в градусах не нужно. При разбивке шкалы в фокусных расстояниях достаточно лишь соблюдать соответствующую пропорциональность размеров рамки и расстояния между визирным отверстием (диоптром) и плоскостью рамки, т. е. при разбивке шкалы прибора

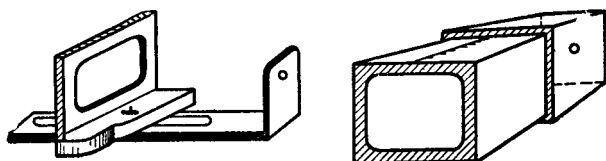


Рис. 31. Простейшие визирные устройства

в соответствующих фокусных расстояниях соблюдать следующее соотношение:

$$l = \frac{h_p}{h_k} \cdot f,$$

где l — расстояние между диоптром и плоскостью рамки; h_p и h_k — размеры соответственных сторон рамки и кадра.

Шкалу видоискателя для малоформатных камер не следует доводить далее чем до фокусных расстояний 85 или 135 мм, так как это очень увеличило бы габариты прибора. Кроме того, поле зрения при больших фокусных расстояниях весьма мало и это затруднило бы пользование прибором. Длиннофокусные фотообъективы обычно предназначены только для использования в тех малоформатных камерах, где визирование производится непосредственно через этот объектив при помощи зеркально-призменной системы. Поэтому отечественные телеобъективы «ТАИР-3» с фокусным расстоянием 300 мм и «МТО» с фокусными расстояниями 500 и 1000 мм имеют резьбы на оправах для соединения с фотоаппаратом «Зенит».

ГЛАВА VI

ПЕРСПЕКТИВА

В главе «Фокусное расстояние объектива и масштаб изображения» говорилось об одном предмете в снимке. Предмет условно рассматривался как плоский. Масштаб определялся по размеру изображения этого предмета.

На практике значительно чаще приходится снимать объекты пространственные, состоящие из многих предметов, находящихся на различных расстояниях от объектива. При съемке пространственного объекта отдельные предметы будут изображены в разных масштабах.

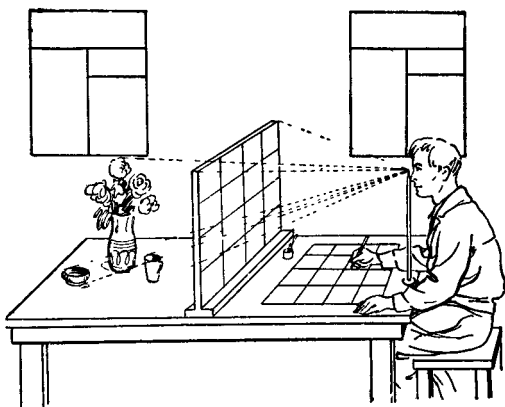


Рис. 32. Способ перспективного рисования

Различие в масштабах изображений отдельных предметов на снимке и является основной причиной того, что при рассматривании снимка создается впечатление глубины, трехмерности изображаемого пространства.

Изображение, в котором масштабы изображенных предметов уменьшаются пропорционально удаленности предметов от точки зрения, называется перспективным.

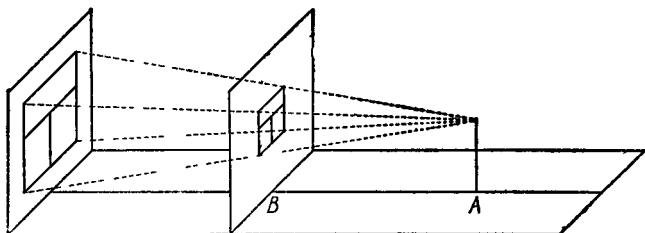
Если, например, в живописи возможно изобразить отдельные элементы картины в произвольно выбранных масштабах и тем самым сознательно или случайно нарушить перспективу, то в фотоизображении перспектива не может быть нарушена, так как масштабы отдельных предметов предопределены их расстоянием от объектива.

Изображение на сетчатке человеческого глаза образуется точно так же, как в фотоаппарате. Поэтому перспективное

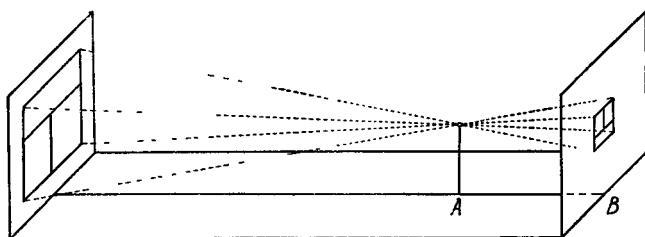
изображение воспринимается человеком как самое естественное. Само слово «перспектива» происходит от латинского слова «perspicere», что значит «правильно видеть».

Слово «perspicere» переводится также «видеть насквозь» и происходит, по-видимому, от способа перспективного рисования, которым пользовались еще художники средневековья. Способ заключался в следующем (рис. 32).

Перед глазом художника устанавливался визирный столбик-диоптр, вершина которого определяла точку зрения. Между объектом и диоптром помещалась вертикальная прозрачная пластина, разграфленная на квадраты и



Так создается перспективное изображение художником



Так образуется изображение объективом

Рис. 33. Способы образования перспективных изображений

являющаяся проекционной плоскостью. Перед художником лежал равный по размеру пластине и так же разграфленный лист бумаги, на который он и переносил то, что видел в каждом квадрате пластины.

Объектив создает изображение подобным же образом с той лишь разницей, что проекционная плоскость, которой является светочувствительный слой, располагается по другую сторону объектива и изображение образуется в расходящемся пучке лучей при пересечении их с плоскостью светочувствительного слоя (рис. 33).

Изображение получается перевернутым, но принципиального значения это не имеет, так как подобие полностью сохраняется. Если же расстояния от точки зрения до проекционной плоскости (на рисунке расстояния AB) в обоих случаях равны, то изображения будут не только подобны, но и равны по размеру.

Хотя фотоизображение всегда перспективно, иллюзия большей или меньшей глубины пространства в снимке зависит от ряда причин. Иногда под словом «перспектива» понимают общее впечатление глубины пространства в снимке. В этом случае то понимание перспективы, о котором сказано вначале, т. е. зависящее от геометрических причин, обозначают термином *линейная перспектива* в отличие от других причин, влияющих на создание общего впечатления глубины пространства. К этим другим причинам относится, например, изменение тональности или цвета предметов по мере их удаления — *тональная перспектива*.

В этой книге могут быть рассмотрены лишь вопросы линейной перспективы, так как они имеют прямое отношение к фотооптике.

Зависимость перспективы изображения от точки съемки

Поскольку линейная перспектива (для краткости мы будем называть ее просто перспектива) создается за счет различия масштабов изображения отдельных предметов, то она будет тем ощутимее, чем это различие больше. В наиболее крупном масштабе изображаются на снимке предметы переднего плана, наиболее мелко — предметы самого заднего плана. Значит, если на снимке наряду с весьма удаленными предметами изображены и предметы очень близкие, то перспектива выражена сильно. Если же снимок не имеет переднего плана или, наоборот, задний план снимка не очень удален, то перспектива в этом случае выражена слабо.

Следовательно, при определенной точке съемки перспектива снимка зависит от протяженности самого объекта в глубину.

Однако если снять один и тот же объект с двух точек, из которых одна ближе к объекту, а другая дальше от него, то перспектива на снимках будет неодинакова.

Пусть нужно снять две фигуры, отстоящие друг от друга на 10 м, считая в глубину. Точка съемки выбрана на расстоянии 10 м от ближайшей фигуры. Объектив $f=50$ мм (рис. 34, А). Уменьшение ближней фигуры $m_1 = \frac{10000}{50} =$ в 200 раз. Уменьшение дальней фигуры $m_2 = \frac{20000}{50} =$ в 400 раз. Ближняя фигура на снимке будет в два раза крупнее дальней.

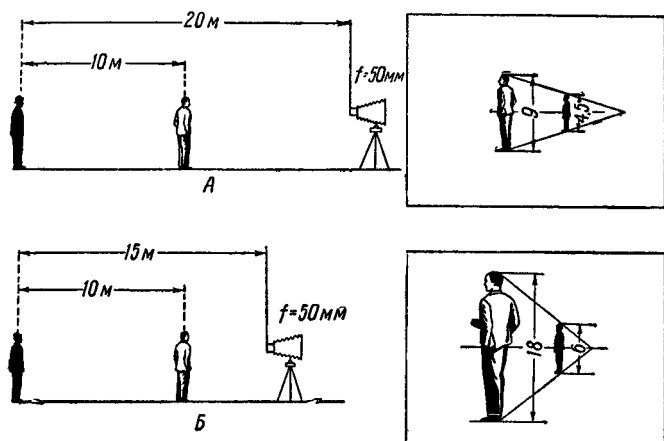


Рис. 34. Изменение перспективы изображения при перемене точки съемки (рост человека принят равным 180 см)

Переместим точку съемки на 5 м вперед, к объекту (рис. 34, Б). Уменьшение ближней фигуры $m_1 = \frac{5000}{50} =$ в 100 раз. Уменьшение дальней фигуры $m_2 = \frac{15000}{50} =$ в 300 раз. Ближняя фигура на снимке будет в три раза крупнее дальней.

Во втором из рассмотренных случаев перспектива будет выражена сильнее, чем в первом, хотя расстояние между передним и задним планами (протяженность объекта) не изменилось.

При съемке с очень дальней точки расстояние между планами (протяженность объекта) по сравнению с расстоянием до объектива будет так незначительно, что оба плана, как передний, так и задний, изобразятся почти в одинаковом масштабе и перспектива почти не будет ощущаться.

Следовательно, при определенной протяженности объекта в глубину перспектива снимка будет тем сильнее, чем ближе к снимаемому объекту выбрана точка съемки.

На первый взгляд может показаться, что перспектива снимка зависит также и от фокусного расстояния объектива, однако это не так. Чтобы убедиться в этом, вернемся к нашему примеру (см. рис. 34, А). Если, не изменяя точки съемки (т. е. снимая с расстояния 10 м от первой фигуры), применить объектив $f=100$ мм, то обе фигуры получатся на изображении вдвое крупнее, т. е. изобразятся в масштабах $1 : 100$ и $1 : 200$, но соотношение их размеров не изменится и опять-таки ближняя фигура будет на снимке в два раза крупнее дальней (рис. 35).

Какого бы фокусного расстояния объектив мы ни применили, нам не удастся с этой точки съемки получить изображение, на котором бы ближняя фигура получилась крупнее

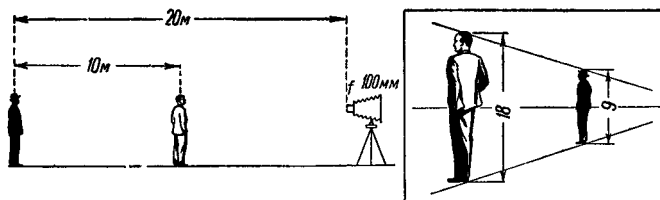


Рис. 35. Независимость линейной перспективы изображения от фокусного расстояния объектива

дальней в три раза или в иное число раз. С данной точки съемки она всегда получится на изображении крупнее дальней фигуры именно в два раза, так как она в два раза ближе к аппарату.

Заметим также, что если точка съемки не изменяется, то и взаиморасположение отдельных деталей на снимке остается постоянным (рис. 36).

Пусть точки A и B , находящиеся в разных плоскостях, лежат на одном луче, проведенном из передней главной точки объектива. На снимке точка A закроет точку B . Совершенно очевидно, что это произойдет, несмотря на перемену объектива, если только при перемене будет сохранено положение передней главной точки. Представим, что точки, лежащие в плоскости A , есть точки контура предмета, а точки, лежащие в плоскости B , — точки фона.

Значит, во всех снимках, сделанных с этой позиции, каждый предмет будет неизменно проецироваться на одни и те же части фона.

Если снимок, показанный на рис. 34, А, увеличить вдвое и из увеличенного вырезать часть, соответствующую снимку, показанному на рис. 35, то оба изображения будут совершенно одинаковы.

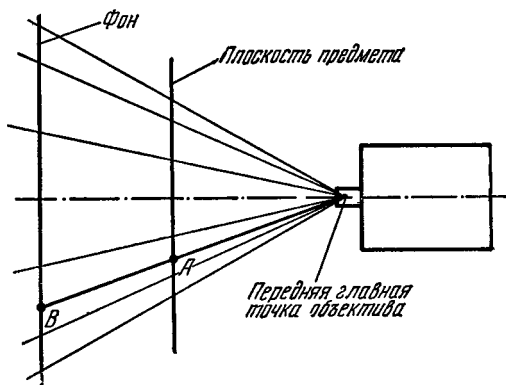


Рис. 36. Независимость взаиморасположения деталей на снимке от фокусного расстояния объектива

Таким образом, фактором, определяющим линейную перспективу изображения, является точка съемки. Все снимки одного и того же объекта, снятые объективами различных фокусных расстояний, но с одной точки, differing масштабом, будут иметь одинаковую перспективу.

Перспектива и фокусное расстояние объектива

Кажущаяся зависимость перспективы от фокусного расстояния проистекает от того, что использование объективов различных фокусных расстояний обычно связано с переменной также и точки съемки.

На рис. 38 приведены четыре снимка одного и того же объекта, снятые объективами с фокусными расстояниями 35, 58, 85 и 135 мм. Точка съемки изменялась с таким расчетом, чтобы девушка на переднем плане на всех негативах была изображена в масштабе 1 : 100, т. е. фотоаппарат в

каждом случае располагался от объекта съемки на дистанции, равной 100 фокусным расстояниям применяемого объектива.

Перспектива снимков различна. Если на снимке, снятом с близкой дистанции (3,5 м), расстояние между передним и задним планами нам кажется очень большим в силу большой разницы в масштабах, то на снимке, снятом с дальней дистанции (13,5 м), расстояние между передним и задним планами как бы сократилось. Если на первом снимке мы отчетливо видим, что девушка находится значительно ближе к нам, чем беседка с фотовитриной, то на последнем снимке нам кажется, что как девушка, так и беседка находятся от нас почти на одинаковом расстоянии.

Следует понять, что изменение перспективы вызвано отнюдь не тем, что съемка произведена разными объективами, а именно тем, что для сохранения масштаба изображения передней фигуры мы вынуждены были изменять точку съемки. В серии снимков, приведенных на рис. 27, сделанной этими же объективами, но с одной точки во всех четырех случаях, масштабные соотношения не изменяются: расстояние между девушкой, сидящей на ближней скамейке, и задним планом, на всех четырех снимках оценивается нами одинаково.

Глубина изображаемого пространства наиболее ощутима в снимках, снятых короткофокусными объективами, потому что короткофокусные объективы являются более широкоугольными, чем объективы длиннофокусные (при съемке на один и тот же размер), т. е. они охватывают большее пространство в ширину и высоту, причем в поле изображения (в кадр) попадают новые детали. Объект с этими деталями, если они ближе к аппарату, чем детали, входившие в кадр при съемке длиннофокусным объективом, имеет сам по себе большую глубину, чем раньше. Таким образом, применяя вместо длиннофокусного объектива короткофокусный, мы уже снимаем, по существу, другой объект, более протяженный.

На рис. 37 показаны границы поля изображения при съемке объективами различных фокусных расстояний.

При съемке длиннофокусным объективом в поле изображения попадает часть бокового окна (кадр № 3), при съемке объективом среднего фокусного расстояния (кадр № 2) — два окна, а при съемке короткофокусным объективом (кадр № 1) — все три окна. В последнем случае перспек-

тива более ощутима, так как больше протяженность самого объекта. Угол же схода параллельных линий (половицы, линии потолка и пр.) остается одинаковым во всех трех случаях.

Еще раз вернемся к серии снимков, приведенных на рис. 27. Снимок, сделанный объективом с фокусным расстоянием 35 мм, обладает наибольшей глубиной, но не за счет

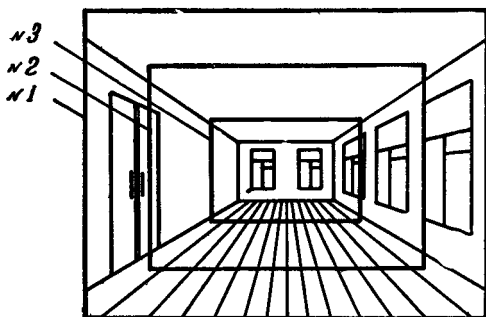


Рис. 37. Границы поля изображения при съемке объективами различных фокусных расстояний на один и тот же размер кадра

масштабных соотношений, а за счет того, что в этом снимке захвачено большое пространство асфальта на переднем плане, т. е. сам объект съемки приобрел большую протяженность.

Перспектива и характер объекта

Наиболее ощутима перспектива в снимках объектов, имеющих параллельные линии, идущие в глубину (например, уходящие вдаль рельсы, перспективы улиц, коридоры, длинные здания, снятые с угла, и пр.), так как в этих случаях вследствие уменьшения масштабов изображений по мере удаления предметов от аппарата параллельные линии объекта кажутся сходящимися.

На рис. 41 показано, как сильно отражается на изображении здания (снятого с угла) приближение точки съемки к объекту.

Если на первом снимке, снятом с расстояния 24 м от ближнего угла здания, высота стены на изображении от



А — объектив с фокусным расстоянием 55 мм.



Б — объектив с фокусным расстоянием 58 мм.

Рис. 38. Фото А, Б, В, Г сняты объективами разных фокусных расстояний. Точка съемки изменялась так, чтобы масштаб переднего плана был одинаков из всех четырех снимках.



В — объектив с фокусным расстоянием 85 мм



Г — объектив с фокусным расстоянием 135 мм

Рис. 38. Фото А, Б, В, Г сняты объективами разных фокусных расстояний. Точка съемки изменялась так, чтобы масштаб переднего плана был одинаков на всех четырех снимках.



Рис. 39. Изменение перспективного впечатления от снимка в зависимости от позиции рассматривания



Рис. 40. В. А. Серов. «Зимний взят»

переднего плана к заднему уменьшается всего в два раза и перспектива выражена не сильно, то на третьем снимке, снятом с расстояния 6 м, высота стены на том же отрезке

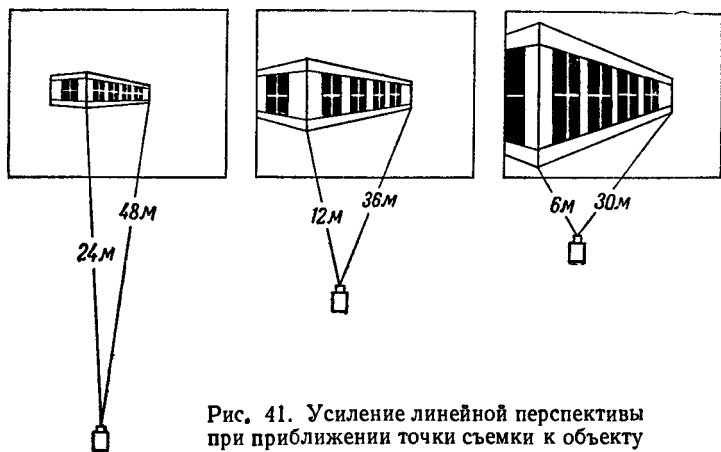


Рис. 41. Усиление линейной перспективы при приближении точки съемки к объекту

уменьшается в пять раз, и это особенно подчеркивается крутым сходом (под большим углом) параллельных линий верха и низа стены.

Перспективные «искажения»

При весьма значительном приближении точки съемки к переднему плану снимаемого объекта легко получить изображение со столь сильно выраженной перспективой, что оно будет казаться искаженным.

В действительности искажения, конечно, нет, так как изображение, даваемое объективом, идентично тому, которое получилось бы на сетчатке глаза, помещенного в ту же точку, где был при съемке объектив аппарата, но вследствие несоразмерно крупного переднего плана по сравнению с задним и очень резкого (крутого) схода на изображении параллельных линий объекта создается ощущение, не соответствующее тому, какое мы обычно получаем, наблюдая объект простым глазом.

Дело в том, что человеческий глаз при довольно большом угле зрения обладает весьма малым углом четкого изображения.

При рассматривании объекта в натуре зрачок глаза произвольно и очень быстро меняет свое положение так, что конец оптической оси глаза как бы обегает объект, скользит по нему. Таким образом, хотя картина объекта и рисуется на довольно большом поле сетчатки глаза, оценивается она не в целом, а по частям. Общее впечатление от объекта в воспринимающем органе мозга складывается суммарно из ряда единичных ощущений.

При рассматривании же фотоснимка расстояние от глаза до изображения обычно оказывается таковым, что угол зрения на снимок не велик, и можно считать, что зритель не только видит, но и оценивает все части снимка почти одновременно, т. е. все части оказываются легко сравнимыми. Следовательно, если между отдельными частями снимка есть диспропорция в размерах, то она немедленно ощущается зрителем и производит впечатление искаженного изображения.

Особенно остерегаться перспективных искажений следует при съемке очень крупных портретных планов, так как при чрезмерном приближении точки съемки к человеческому лицу несоразмерность масштаба изображения отдельных его частей может привести к карикатурности.

Перспективных искажений следует опасаться также при съемке высоких архитектурных сооружений. Снимая с нижней точки высокое здание и направляя при этом оптическую ось объектива под некоторым углом к горизонтали, мы получаем значительную разницу в расстояниях от объектива до нижних и верхних частей здания (рис. 42).

Линии AB и CD , имеющие в натуре одинаковые размеры, на снимке будут неодинаковы: C_1D_1 будет больше, чем A_1B_1 , и здание на снимке будет казаться падающим назад.

Явление это знакомо всем занимающимся фотографией, но понимают его не всегда правильно. Искажения перспективы здесь опять-таки нет. Объектив построил изображение точно так же, как оно было бы построено на сетчатке глаза, если бы глаз поместить в точку O .

Если «искаженный» снимок рассматривать с такой же позиции, с какой производилась съемка, то он будет производить впечатление естественное.

Это обстоятельство обычно учитывают при размещении фотоснимков на выставках, помещая в верхней части стендов снимки, сделанные в нижнем ракурсе, т. е. снятые с низких точек по отношению к объекту съемки.

Если вы сейчас читаете сидя за столом и книга лежит горизонтально, то перспектива снимка (рис. 39) будет казаться вам искаженной. Поднимите нижний край книги так, чтобы взгляд скользил наклонно по плоскости рисунка снизу вверх, — искажение заметно уменьшается. Поднимите теперь книгу в вертикальном положении выше головы и рассматривайте тот же снимок с нижней точки — искажение почти исчезает. Дело в том, что мышечное усилие при

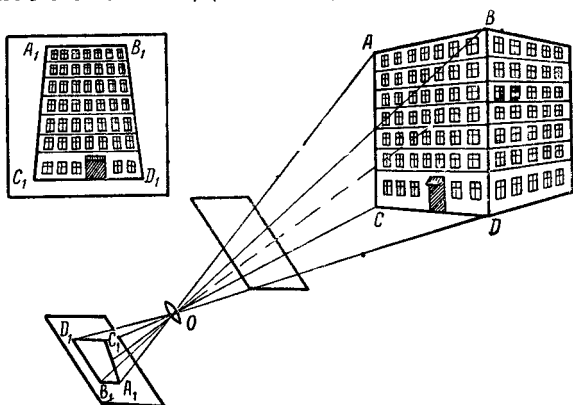


Рис. 42. Перспективные искажения при съемке высоких зданий

отклонении головы назад создает условия восприятия, наиболее близкие к тем, которые были бы при естественном наблюдении данного объекта. Можно еще более приблизить восприятие к естественному, если рассматривать при этом снимок не двумя глазами, а одним.

Следует отметить, что ракурсные снимки, т. е. снимки, специально снятые с верхних или нижних точек, при съемке которых оптическая ось объектива была значительно отклонена от горизонтального направления, воспринимаются естественно, если, конечно, ракурс оправдан содержанием снимка, т. е. избранная точка зрения логична. Снимки же, на которых «завал назад» произошел вследствие незначительного и случайного наклона оптической оси объектива, воспринимаются как искаженные.

При увеличении отпечатка подобные искажения можно исправить соответственным наклоном экрана увеличителя*.

* Подробнее об этом сказано в выпуске 3 «Библиотеки фотолюбителя» — «Лабораторная обработка фотоматериалов»

Если при съемке высоких зданий верхняя часть здания «срезается», а отойти дальше почему-либо нельзя, то следует выбрать более высокую точку съемки, приблизительно на высоте середины снимаемого здания.

На снимках, снятых широкоугольными объективами, часто заметны искажения изображений объемных деталей, расположенных в крайних частях кадра, — они несколько растянуты в сторону от центра, т. е. по радиусам кадра.

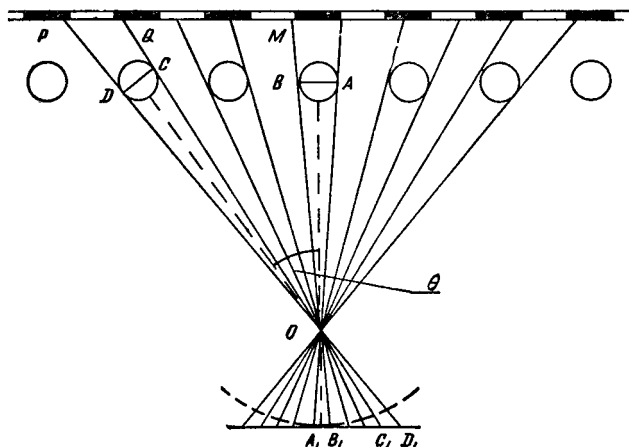


Рис. 43 Перспективные искажения в крайних частях поля изображения

Искажения этого рода наиболее ощутимы в тех случаях, когда имеются одинаковые детали в центральной зоне кадра и в крайних его частях, вследствие чего имеется возможность сравнения величин.

Искажения эти тоже перспективного порядка. Они не являются следствием аберраций объектива, как иногда думают, и, следовательно, не зависят от конструкции объектива.

Чтобы это уяснить, разберем рис. 43, на котором в плане изображена съемка широкоугольным объективом колоннады перед зданием. Оптическая ось объектива направлена перпендикулярно фронту колоннады. Изображение центральной колонны A_1B_1 будет меньше по ширине, чем изображение крайней колонны C_1D_1 , хотя диаметры всех колонн одинаковы. На снимке центральная колонна перекро-

ет часть стены здания — MN , а крайняя колонна перекроет часть PQ , последняя значительно больше MN . Это обстоятельство усугубит ощутимость искажения. При естественном наблюдении этого объекта глазом, помещенным в ту же точку O , где находился объектив при съемке, мы не ощутим искажения отчасти потому, что поверхность сетчатки приближается к сфере (на рисунке обозначена пунктиром), но главным образом по причине, уже упомянутой выше, а именно потому, что при достаточно большом угловом расстоянии между центральной и крайней колоннами (на рисунке обозначено θ) мы рассматриваем центральную и крайние колонны не одновременно, а последовательно, что затрудняет возможность точных сравнений.

Зависимость перспективного впечатления от расстояния, с которого рассматривается снимок

Перспектива в снимке, понимаемая как впечатление глубины пространства, в значительной степени зависит также от того, с какого расстояния этот снимок рассматривают.

На рис. 40 приведена репродукция с картины художника В. А. Серова «Зимний взят». Если при рассматривании рисунка отодвигать его постепенно от глаза или приближать к глазу, то легко заметить, что расстояние между задним планом (скульптура и сидящий часовой) и фигурами переднего плана, т. е. общая длина дворцовой лестницы, как бы изменяется. Если попытаться оценить длину этой лестницы в метрах, то это сделать не удастся, не приведя глаз и рисунок к статике.

Причина этого явления будет понятна из рис. 44.

В верхней части рисунка показана съемка двух человек одинакового роста AB и CD , находящихся на различных расстояниях от объектива аппарата. На пленке ближний человек изобразится величиной A_1B_1 , а дальний — величиной C_1D_1 .

Во второй части рисунка показан глаз зрителя, рассматривающего полученный снимок с расстояния, равного расстоянию между пленкой и объективом во время съемки, т. е. примерно с расстояния, равного фокусному расстоянию примененного при съемке объектива. Углы зрения, под которыми глаз видит изображения этих двух человек, при этом равны тем углам, под которыми «видел» их объек-

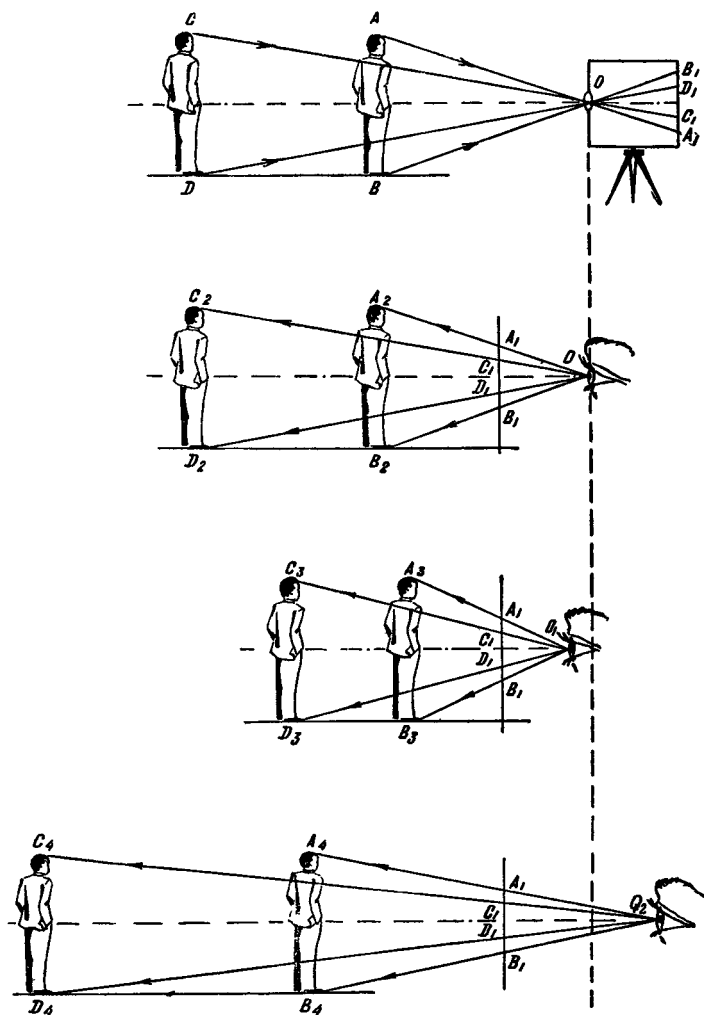


Рис. 44. Зависимость перспективного впечатления от расстояния, с которого рассматривается изображение

тив при съемке. Представляя себе натуральный рост человека и зная, что изображенные люди примерно одинакового роста, зритель, воссоздавая в воображении иллюзию пространства, как бы разрывает плоскость снимка и мысленно относит изображения в направлении лучей зрения (показаны на рисунке стрелками) в те места пространства, где они примут натуральные размеры, т. е. изображение A_1B_1 — в положение A_2B_2 , а изображение C_1D_1 — в положение C_2D_2 , т. е. как раз в те точки пространства, где находились эти люди во время съемки.

В третьей части рисунка показан глаз зрителя, рассматривающего снимок с более близкого расстояния. Углы зрения на изображения фигур при этом увеличиваются, и в воображаемом пространстве фигуры займут при той же натуральной высоте более близкие к зрителю места. При этом воображаемое расстояние между ними также значительно сократится.

В последней, четвертой части рисунка показано восприятие пространства зрителем, рассматривающим снимок с большей дистанции. Для него перспектива окажется преувеличенной.

Таким образом, для получения правильного перспективного впечатления следует рассматривать снимки с расстояния, равного фокусному расстоянию объектива, которым они сняты. Если же снимок увеличен, то соответственно во столько же раз следует увеличить дистанцию, с которой он рассматривается.

Так, например, снимок, сделанный камерой «Зоркий» или «Киев» с объективом $f=50$ мм и увеличенный на размер 13×18 см, т. е. в пять раз, следует для получения правильного перспективного впечатления об объекте съемки рассматривать с расстояния $50 \text{ мм} \times 5 = 250 \text{ мм} = 25 \text{ см}$, а снимок, сделанный той же камерой с объективом 135 мм, при таком же увеличении для получения правильного перспективного впечатления следует рассматривать с расстояния $135 \text{ мм} \times 5 = 67,5 \text{ см}$.

Если же второй снимок, как и первый, рассматривать с расстояния 25 см, то его перспектива покажется преуменьшенной. Очевидно, увеличение первого снимка наиболее приемлемо для альбома, а увеличение второго снимка — для стенда. Если же первый снимок предназначен тоже для стенда, то для получения правильного перспективного впечатления его следует увеличивать на больший размер.

Рекомендуется учитывать это обстоятельство при выборе размера увеличения. Причем, зная это правило, можно не только добиваться правильного перспективного впечатления от снимка, но при желании достигать усиления или ослабления перспективы.

Вполне понятно, что когда при увеличении печатается лишь часть изображения, в расчет надо принимать не размер отпечатка, а величину общего увеличения.

ГЛАВА VII

СВЕТОСИЛА ОБЪЕКТИВА И ОСВЕЩЕННОСТЬ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Весьма важной характеристикой объектива является его светосила.

Под светосилой объектива понимается его способность давать изображение той или иной степени освещенности.

Вполне понятно поэтому, что от светосилы зависит величина выдержки при съемке.

Зависимость светосилы от диаметра действующего отверстия объектива

Если мы возьмем два аппарата, объективы которых имеют одинаковые фокусные расстояния, но разные диаметры, и наведем оба аппарата на один и тот же объект, то изображение будет иметь большую освещенность в том аппарате, объектив которого имеет больший диаметр, так как этот объектив пропустит больше света. Если диаметр действующего отверстия этого объектива больше вдвое, то площадь отверстия больше в четыре раза и объектив пропустит света в четыре раза больше. Следовательно, изображение даваемое этим объективом, будет иметь освещенность тоже в четыре раза большую. Если диаметр действующего отверстия одного из объективов втрое больше другого, то изображение, даваемое этим объективом, будет иметь в девять раз большую освещенность (рис. 45).

Таким образом, освещенность изображения, даваемого объективом, прямо пропорциональна квадрату диаметра действующего отверстия этого объектива.

Заметим, что диаметр действующего отверстия объектива нельзя измерять по диаметру линзы или диафрагмы,

Диаметр действующего отверстия объектива определяется диаметром того параллельного пучка света, который объектив способен пропустить (рис. 46).

Поэтому для практического определения диаметра действующего отверстия следует навести аппарат на удаленный

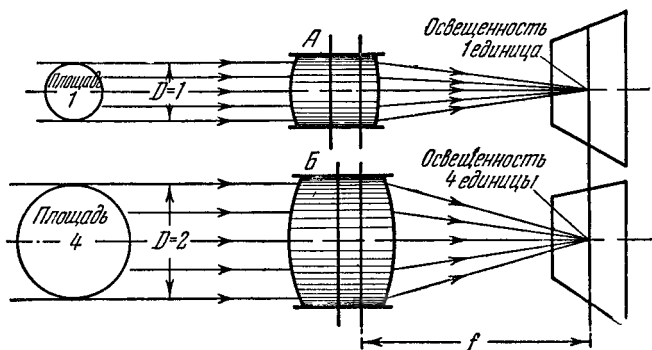


Рис. 45. Зависимость светосилы от диаметра действующего отверстия объектива:

светосила объектива Б в четыре раза больше светосилы объектива А

предмет (т. е. поставить матовое стекло в фокальную плоскость) и, заменив матовое стекло листом картона с маленьким отверстием в центре, поместить позади этого отверстия

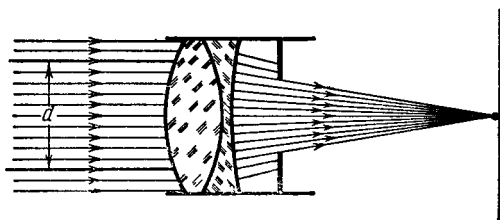


Рис. 46. Определение диаметра действующего отверстия объектива (d)

источник света, изолировав его от остального пространства. Получится ход лучей, обратный тому, который изображен на рис. 46. Для удобства измерений можно получить изображение действующего отверстия на фотобумаге, проэкспонировав ее в контакте с объективом.

Зависимость светосилы от фокусного расстояния объектива

Если мы возьмем два аппарата, объективы которых имеют одинаковые действующие отверстия, но разные фокусные расстояния, и наведем оба аппарата на один и тот же достаточно удаленный предмет (чтобы изображения предмета получились приблизительно в фокальных плоскостях), то мы опять-таки получим изображения различной освещенности.

Дело в том, что хотя тот и другой объективы пропускают одинаковое количество света, но распределяется этот свет на разные площади, так как размеры изображений предмета различны в каждом из аппаратов.

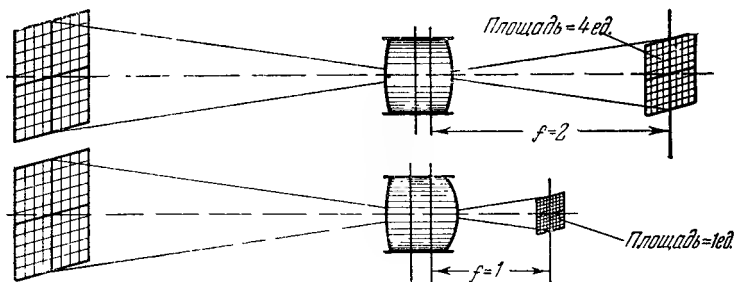


Рис. 47. Зависимость светосилы от фокусного расстояния

Если фокусное расстояние первого объектива вдвое больше, то изображение, даваемое им, будет по своим линейным размерам также вдвое больше изображения, даваемого вторым, а следовательно, по площади первое изображение будет больше второго в четыре раза. Освещенность первого изображения будет в четыре раза меньше, потому что такой же световой поток распределится здесь по площади, вчетверо большей (рис. 47).

Таким образом, освещенность изображения, даваемого объективом, обратно пропорциональна квадрату фокусного расстояния объектива.

Объединяя обе зависимости в одну, можно написать:

$$\text{светосила} = \frac{d^2}{f^2} = \left(\frac{d}{f} \right)^2.$$

Относительное отверстие объектива

Величина $\frac{d}{f}$ представляет собой отношение диаметра действующего отверстия объектива к его фокусному расстоянию. Эта величина называется относительным отверстием объектива и обычно приводится в виде дроби с числителем 1.

Например, диаметр действующего отверстия объектива «Индустар-22» равен 15 мм, а фокусное расстояние его 52,4 мм. Значит, относительное отверстие объектива равно

$$\frac{15}{52,4} = \frac{150}{525} = \frac{2}{7}, \text{ но принято писать не } \frac{2}{7}, \text{ а } \frac{1}{3,5} \text{ или } 1 : 3,5.$$

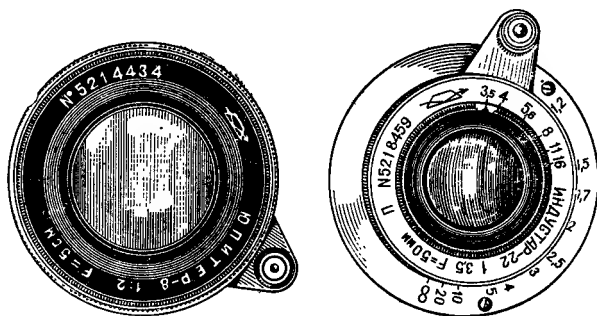


Рис. 48. Сравнение светосилы объективов:

$$\left(\frac{1}{3,5}\right)^2 \approx \frac{1}{12}; \quad \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}; \quad \frac{1}{4} : \frac{1}{12} = 3.$$

При полном открытии диафрагмы светосила объектива «Юпитер-8» в три раза больше светосилы объектива «Индустар 22»

Собственной единицы измерения светосилы в обиходе нет. Характеризуют светосилу непосредственно величиной относительного отверстия, которая и указывается на оправе объектива.

Светосилы объективов относятся между собой, как квадраты относительных отверстий.

Поэтому при сравнении двух объективов по светосиле относительные отверстия этих объективов возводят в квадрат и делят большее число на меньшее (рис. 48).

Шкалы диафрагм

В практике работы часто приходится уменьшать действующее отверстие объектива. (Делается это чаще всего для увеличения глубины резкости, о чем будет подробно сказано в следующей главе.)

Уменьшается отверстие посредством диафрагмы объектива. В советских фотоаппаратах применяются только ирисовые диафрагмы, состоящие из отдельных лепестков и дающие возможность уменьшать отверстие плавно.

На оправе объектива наносится шкала с обозначением величин относительных отверстий при различных степенях диафрагмирования. Поскольку величины относительных отверстий всегда выражаются дробью с числителем 1, то, чтобы не загромождать шкалу цифрами, на ней проставляются только знаменатели (например, 4,5 вместо $1 : 4,5$)*.

Отметки на шкале наносятся с таким расчетом, что при переходе от одной отметки к другой площадь действующего отверстия объектива изменяется в два раза, а значит, в два раза изменяется и освещенность изображения. Это упрощает расчеты выдержки при изменении диафрагмы: перевод указателя диафрагмы на одно деление шкалы требует изменения выдержки в два раза (при прочих равных условиях и требованиях к негативу).

Чтобы упростить расчеты выдержки также и при смене объективов, шкалы на различных объективах размечают в одних и тех же величинах, т. е. за основу принимают определенный ряд относительных отверстий, составленный по указанному выше принципу.

В СССР сейчас принят следующий стандартный ряд значений относительных отверстий:

1:1,4	1:2	1:2,8	1:4	1:5,6	1:8	1:11	1:16	1:22	1:32
-------	-----	-------	-----	-------	-----	------	------	------	------

На многих распространенных объективах еще встречается такой ряд:

* Раньше существовало много разных систем обозначения диафрагм, но теперь повсеместно принята система обозначения в относительных отверстиях. Другие же системы можно встретить лишь на очень старых объективах.

1:1,6	1:2,3	1:3,2	1:4,5	1:6,3	1:9	1:12,5	1:18	1:25	1:36
-------	-------	-------	-------	-------	-----	--------	------	------	------

Чтобы убедиться, что оба ряда составлены по принципу последовательного двукратного уменьшения светосил, надо возвести в квадрат два любых соседних числа и разделить одно на другое. Если же взять пару чисел относительных отверстий через одно, то, даже не производя расчета, видно, что одно число больше другого вдвое, а следовательно, соответствующие им значения светосилы разнятся вчетверо.

Тот и другой ряд может быть распространен как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения относительных отверстий, но не беспредельно. Теоретически доказано, что высшим пределом светосилы объектива является относительное отверстие $1 : 0,5$. Уменьшение же действующего отверстия объектива до слишком малых диаметров в силу явления дифракции приводит к значительному снижению резкости изображения. Поэтому обычно степень диафрагмирования объектива ограничивают относительными отверстиями $1 : 32$ или $1 : 22$, а в короткофокусных объективах — $1 : 16$ и даже $1 : 11$.

Максимальные относительные отверстия некоторых объективов (при полном открытии диафрагмы) не совпадают с числом принятого ряда. В этом случае, задиафрагмировав объектив на одно первое деление шкалы, получим снижение светосилы меньше чем в два раза. Это следует учитывать при расчете выдержек

Например, объектив «Индустар-22» имеет максимальное относительное отверстие $1 : 3,5$. Первая отметка шкалы диафрагм по стандартному ряду $1 : 4$:

$$\left(\frac{1}{3,5}\right)^2 \approx \frac{1}{12}; \left(\frac{1}{4}\right)^2 = \frac{1}{16}; \frac{1}{12} : \frac{1}{16} = 1 \frac{1}{3},$$

следовательно, если объектив задиафрагмировать до отметки $1 : 4$, то светосила уменьшается не вдвое, а всего лишь в $1 \frac{1}{3}$ раза.

Большинство фотообъективов последних выпусков снабжается устройством, которое позволяет при переходе от одной диафрагмы ряда к другой, не прибегая к перерасчету, автоматически изменять выдержку. Затвор аппарата при этом всегда имеет шкалу выдержек, в которой каждая последующая выдержка отличается от предыдущей в два раза.

После подбора правильной экспозиции установочные кольца диафрагм и выдержек сцепляются друг с другом. Поскольку шкала выдержек и шкала диафрагм в таких аппаратах равномерны и направлены навстречу друг другу, то при переводе кольца диафрагм на одно деление в сторону уменьшения кольцо регулировки выдержек переходит на одно деление в сторону увеличения.

На оправу объективов с таким устройством наносится еще одна шкала условных величин, называемая шкалой световых значений. Каждое значение этой шкалы при определенных световых условиях соответствует некоторой определенной экспозиции (т. е. произведению выдержки на освещенность изображения). Эта шкала облегчает запоминание световых условий и пользование экспонометрами.

Изменение светосилы объектива при съемке близких предметов

Определяя относительное отверстие, как отношение $\frac{d}{f}$, мы считали, что изображение получается в фокальной плоскости или, во всяком случае, вблизи нее.

При съемке же близких предметов изображение находится не в фокальной плоскости, а дальше от объектива. При съемке предмета в натуральную величину плоскость изображения, например, отстоит от объектива на расстоянии $2f$.

Т а б л и ц а 2

Изменения выдержки при съемке близких предметов

Расстояние от объектива до предмета (число фокусных расстояний)	Во сколько раз уменьшится относительное отверстие объек- тива (по сравне- нию с указанным на шкале)	Во сколько раз надо увеличить выдержку
10	1,11	1,25
9	1,12	
8	1,14	
7	1,17	
6	1,20	1,5
5	1,25	
4	1,33	
3	1,50	1,75
$2\frac{1}{2}$	1,66	2,25
2 (съемки в натуральную величину) .	2,00	2,75
		4

Значит, относительное отверстие равно в этом случае не $\frac{d}{f}$, а $\frac{d}{2f}$, т. е. будет меньше в два раза; светосила же объектива уменьшится в четыре раза.

При съемке предметов, находящихся от объектива дальше, чем на 10 фокусных расстояний, изменение светосилы сравнительно невелико и при расчете выдержки им можно пренебречь. При съемке же более близких предметов нужно определять выдержку обязательно с учетом изменившейся светосилы (см. табл. 2).

Изменение светосилы объектива при применении насадочных линз

При применении насадочных линз светосила объектива тоже изменяется, так как изменяется фокусное расстояние объектива.

Перерасчет шкалы относительных отверстий (шкалы диафрагм) в этом случае очень прост, так как относительные отверстия изменяются обратно пропорционально фокусным расстояниям. Следовательно, во сколько раз увеличивается фокусное расстояние объектива при применении насадочной линзы, во столько же раз уменьшаются все значения шкалы относительных отверстий, и наоборот.

Так, например, фокусное расстояние объектива «Ортагоз», равное 135 мм, увеличили при помощи отрицательной насадочной линзы с оптической силой — 2,5 диоптрии. Нетрудно подсчитать, что фокусное расстояние системы стало равным около 200 мм, т. е. по сравнению с прежним стало больше приблизительно в 1,5 раза. Значит, и все числа шкалы следует также увеличить в 1,5 раза.

Вместо ряда 4,5—6,3—9 . . . и т. д. получим ряд 6,8—9,5—13,5 . . . и т. д.

Расчет выдержек в данном случае можно вести еще проще: поскольку значения относительных отверстий уменьшились в 1,5 раза, то выдержки следует увеличить в $1,5^2 = 2,25$ раза по сравнению с теми, какие бы следовало давать без насадочной линзы.

Изменение светосилы при применении насадочных линз происходит у всех объективов обычного типа, линзы которых неподвижно закреплены в одной общей оправе. У объективов же, которые фокусируются передней линзой, как, например, «Индустар-23» (фотоаппараты «Москва»), «Т-21»

(«Комсомолец») и «Т-22» («Любитель»), шкалы диафрагм сохраняют свои значения независимо от применяемой насадочной линзы. Происходит это потому, что в объективах подобной конструкции с уменьшением фокусного расстояния в такой же мере автоматически (оптически) уменьшается диаметр того пучка лучей, который способен пропустить объектив, т. е. уменьшается диаметр действующего отверстия. А раз это так, то отношение $\frac{d}{f}$ остается неизменным.

Падение освещенности изображения к краю поля

Освещенность изображения не одинакова по всему полю зрения объектива. Центр поля всегда освещен сильнее, края — слабее. Даже в пределах используемой центральной части поля зрения (т. е. поля изображения) освещенность падает от центра к краям. Особенно заметен спад освещенности при применении широкоугольных объективов.

При диафрагмировании освещенность поля становится более равномерной. Применяя широкоугольные объективы, не следует забывать о явлении спада освещенности к краям и по возможности при съемке принимать некоторые меры: большее диафрагмирование объектива, некоторое увеличение выдержки с учетом проработки краевых частей, такое расположение объекта в кадре, при котором уменьшение освещенности по краям кадра не так вредило бы впечатлению от снимка, соответствующее освещение объекта (если съемка ведется при искусственном освещении) и пр.

Несмотря на принятые меры, все же иногда негатив получается в центре более плотным, чем по краям. Окончательное выравнивание можно произвести при увеличении с негатива (добавочно экспонируя центральную часть, прикрывая края). Следует заметить, что в некоторых увеличителях центр экрана бывает освещен сильнее, нежели края. Этот недостаток как раз в значительной мере компенсирует спад плотностей к краям негатива и делает излишним добавочное экспонирование центральной части.

Светопропускание объектива и эффективная светосила

Вводя понятие светосилы и характеризуя ее величиной относительного отверстия $\frac{d}{f}$, мы допускали, что пучок света, имеющий при входе в объектив диаметр, равный d , полно-

стью достигает плоскости пленки и образует изображение. На основании этого допущения мы и сделали вывод, что два различных объектива, если их относительные отверстия одинаковы, дают равноосвещенные изображения одного и того же объекта. Между тем это не вполне так.

Дело в том, что не весь световой поток, поступивший в объектив, достигнет пленки; часть его поглотится массой стекла, которое не является абсолютно прозрачным, и часть отразится от поверхностей линз.

Потери света за счет поглощения сравнительно невелики; в среднем можно считать, что на протяжении 1 см длины хода луча в массе оптического стекла теряется 1% света. Потери же за счет отражения значительно больше — в среднем теряется 5% света на каждой границе между воздухом и стеклом (как при входе из воздуха в стекло, так и при выходе из стекла в воздух).

Конструкции фотообъективов весьма различны: наряду с применением объективов, состоящих всего из одной линзы (монокль), применяются сложные объективы, имеющие 8—10 границ стекло — воздух. В простейших объективах потери света составляют всего лишь около 10%, а в сложных доходят до 50% и даже больше.

При таком положении весьма полезно ввести понятие **эффективной светосилы объектива**, т. е. светосилы с учетом световых потерь.

Пусть Φ — световой поток, вошедший в объектив, а Φ_1 — световой поток, вышедший из объектива.

Отношение $\frac{\Phi_1}{\Phi} = T$ называется **коэффициентом светопропускания объектива**.

Измерение световых потоков производится в оптических лабораториях при помощи фотоэлемента, соединенного с гальванометром.

Коэффициент светопропускания T всегда выражается числом, меньшим 1, так как вышедший световой поток всегда меньше, чем поток, вошедший в объектив.

Величина T показывает, какая часть упавшего на объектив света проходит сквозь объектив и участвует в построении изображения на пленке.

Если нам известны коэффициенты светопропускания двух объективов, то мы можем сравнивать эти объективы уже не по теоретической светосиле $\left(\frac{d}{f}\right)^2$, а по эффективной

светосиле, которая выражается как $\left(\frac{d}{f}\right)^2 \cdot T$ и которая прямо пропорциональна действительной освещенности изображения, даваемого конкретным объективом.

Так, например, если у сравниваемых объективов (см. рис. 48) $T_{\text{«Индустара»}} = 0,6$, а $T_{\text{«Юпитера»}} = 0,8$ (цифры условные), то эффективная светосила «Индустара» будет равна $\frac{1}{12} \cdot 0,6 = 0,05$ а эффективная светосила «Юпитера» $\frac{1}{4} \cdot 0,8 = 0,20$, т. е. «Юпитер» будет светосильнее в $\frac{0,20}{0,05} = 4$ раза, а не в три раза, как это предположили мы, не учитывая коэффициента светопропускания.

Просветление объективов

Для увеличения светопропускания объективов наша оптическая промышленность широко применяет метод просветления.

Просветление объектива заключается в нанесении на поверхности линз, граничащие с воздухом, тончайших прозрачных пленок из материала, преломляющая способность которого меньше преломляющей способности стекла.

Просветление в значительной мере уменьшает отражение света от поверхностей линз и тем самым увеличивает коэффициент светопропускания объектива, а значит, и эффективную светосилу.

Особенно сказывается влияние просветления на сложных объективах, имеющих 6—10 и более границ воздух — стекло. Коэффициент светопропускания сложных объективов повышается от 0,6—0,7 до 0,85—0,9, т. е. объектив после просветления начинает пропускать света на 20—25% больше, чем до просветления.

Светорассеяние в фотоаппарате

Значение просветления объективов не только в повышении светосилы. Негативы, снятые непросветленными объективами, при прочих равных условиях обладают меньшей контрастностью за счет меньшей прозрачности в теневых частях.

Происходит это потому, что свет, отраженный поверхностями линз объектива (начиная со второй поверхности), в некоторой своей части проникает внутрь аппарата и, не участвуя в построении изображения на светочувствитель-

ном слое, создает засветку, образуя на негативе добавочную равномерную плотность — вуаль (рис. 49).

Для примера представим себе такой случай. Снимаемый объект имеет наибольшую яркость 200 (в любых условных единицах), наименьшую яркость 2; следовательно, интервал яркостей, т. е. отношение яркости самой светлой детали к яркости самой темной детали, равен $\frac{200}{2} = 100$.

При идеальной передаче на светочувствительном слое был бы получен такой же самый интервал освещенностей,

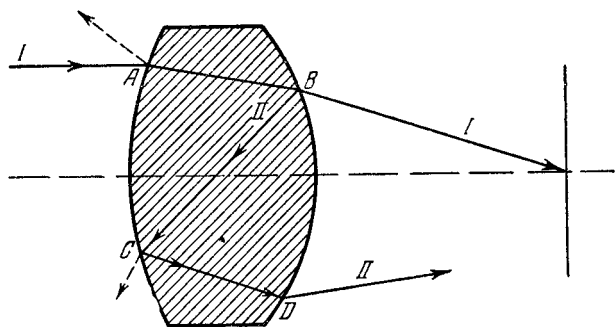


Рис. 49 Схема светорассеяния:

луч I в точке B разделится на два луча. Основной луч I участвует в образовании изображения, а луч II , претерпев отражение в точке C и преломление в точке D , проникает внутрь аппарата и образует вуаль

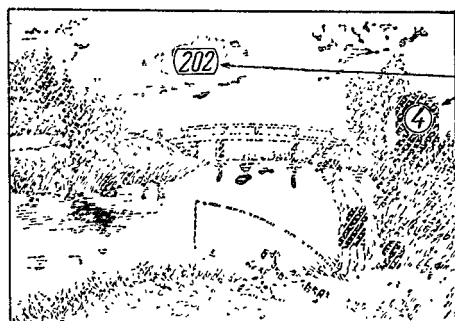
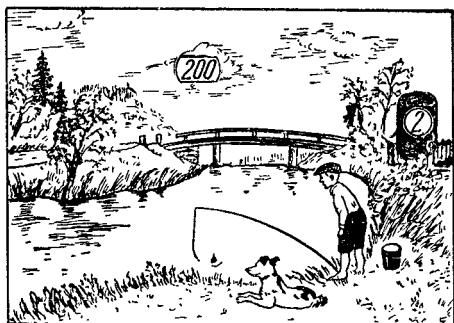
т. е. наибольшая освещенность была бы равна 200 (в любых условных единицах), а наименьшая 2.

Однако при применении непросветленного объектива «паразитный» свет даст некоторую равномерную засветку всего изображения. Предположим, что величина этой засветки равна 2, значит, наибольшая освещенность окажется $200 + 2 = 202$, а наименьшая $2 + 2 = 4$. Интервал освещенностей будет равен уже не 100, а $\frac{202}{4} \approx 50$.

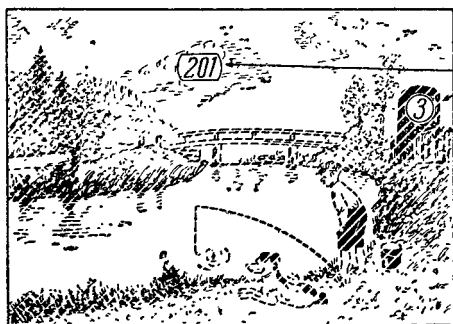
Допустим, что мы применили просветленный объектив и засветка изображения уменьшилась в два раза, т. е. стала равна 1. Интервал освещенностей равен: $\frac{201}{3} = 67$ (рис. 50)*.

* Мы здесь говорим лишь об интервале освещенностей, полученных на пленке или пластинке внутри фотоаппарата, а не об интервале плотностей негатива после обработки

Количественные выражения плотностей будут иные, но они зависят от освещенностей светочувствительного слоя во время экспонирования его в фотоаппарате



*Засветка
2 единицы*



*Засветка
1 единица*

Рис 50 Влияние светорассеяния на интервал освещенностей изображения

Явление, описанное выше, называется **с в е т о р а с с е я н и е м**. Кроме описанной причины светорассеяние вызывается иногда целым рядом других причин: плохим качеством стекла объектива (наличие в массе стекла мелких пузырьков, свилей), царапинами на поверхностях линз объектива (особенно потертостями линз в центральной части), запыленностью линз объектива, плохим чернением внутренних частей оправы объектива, сколками стекла у краев линз, потертостями лепестков ирисовой диафрагмы или плохим их чернением, попаданием в объектив в момент фотографирования боковых лучей как прямого света от источников (солнце, лампы и пр.), так и сильного рассеянного света (от неба, от снега и пр.).

Причины светорассеяния, зависящие от состояния объектива, могут быть устранены при внимательном отношении к нему и тщательном уходе.

Последняя причина — засветка объектива — устраняется путем применения бленды, т. е. тубуса, надевающегося на переднюю часть оправы объектива и предохраняющего объектив от попадания боковых лучей. Применять бленду рекомендуется при всех съемках.

Сделать бленду легко самому из светонепроницаемой бумаги или картона. Внутренняя часть бленды должна быть хорошо вычернена и матирована. Длина бленды должна быть максимальной, т. е. нужно вначале сделать ее с запасом, затем, контролируя по матовому стеклу, постепенно надвигать на объектив до тех пор (но не далее), как исчезнет затемнение (каширование) углов изображения, и, сделав отметку, срезать лишнюю часть. Длина бленды для объектива фотоаппарата, не имеющего наводки по матовому стеклу, определяется пробными съемками.

ГЛАВА VIII

ДИАФРАГМИРОВАНИЕ ОБЪЕКТИВА И ГЛУБИНА РЕЗКО ИЗОБРАЖАЕМОГО ПРОСТРАНСТВА

Уже говорилось, что каждому положению плоскости предмета соответствует свое строго определенное положение плоскости изображения.

Следовательно, на светочувствительном слое могут быть резко изображены лишь предметы, находящиеся в одной

определенной плоскости. Любая точка, лежащая вне этой плоскости, изобразится уже не в виде точки, а в виде кружка (рис. 51). Если точка лежит сравнительно недалеко от этой плоскости (на рисунке плоскость EE), то кружок, ее изображающий, будет невелик; чем дальше — вперед или назад — от этой плоскости будет расположена точка, тем больше будет диаметр изображающего ее кружка.

Таким образом, изображения предметов, находящихся в плоскости EE , которая называется плоскостью наводки, будут состоять из точек и будут резкими.

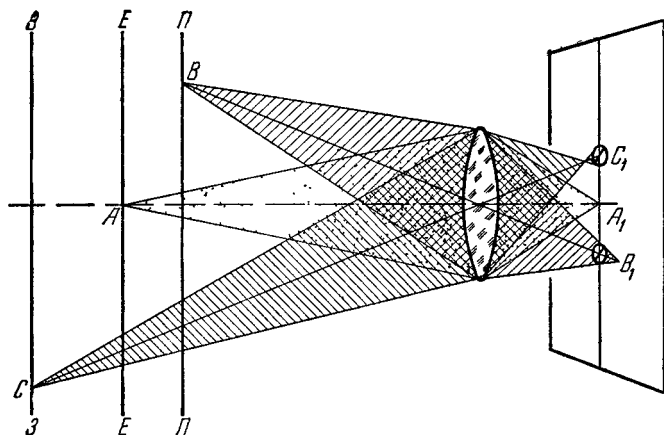


Рис. 51. Схема получения изображения, обладающего глубиной резкости

Изображения предметов, лежащих ближе или дальше этой плоскости, будут состоять из кружков большего или меньшего диаметра и не будут резкими.

Однако опытами установлено, что при рассматривании с расстояния 25 см, которое считается для нормального человеческого глаза расстоянием наилучшего зрения, кружки, диаметр которых не превышает 0,1 мм, воспринимаются как точки.

Таким образом, нам кажутся резкими на снимке не только те предметы, которые действительно изображены резко, но и те, которые в действительности изображены нерезко, но нерезкость которых не превосходит определенной величины.

Обратимся к рис. 51. точка A изобразится в виде точки A_1 , точки B и C изобразятся в виде кружков рассеяния B_1 и C_1 , диаметры которых равны $0,1$ мм.

Любая точка, лежащая в пространстве между передней ($ПП$) и задней ($ЗЗ$) плоскостями, даст на изображении кружок с диаметром меньше $0,1$ мм и воспримется глазом как точка. Любая же точка, расположенная ближе к объективу, чем плоскость $ПП$, или дальше от него, чем плоскость $ЗЗ$, изобразится кружком, диаметр которого будет больше $0,1$ мм, и будет казаться нерезкой.

Следовательно, резко изображенными на снимке нам будут казаться не только предметы, расположенные в плоскости наводки $ЕЕ$, но также и те предметы, которые лежат в пространстве между плоскостями $ПП$ и $ЗЗ$. Пространство это называют резко изображаемым пространством. Протяженность этого пространства вдоль оптической оси называется его глубиной.

Допустимые пределы нерезкости

Диаметр кружка рассеяния, равный $0,1$ мм, может быть принят за норму резкости лишь в тех случаях, когда размер снимка позволяет рассматривать его с расстояния 25 см. Поэтому для размеров негатива 6×6 см и больше этот диаметр принимается за норму, учитывая, что если с негативов таких размеров будут производиться увеличенные отпечатки, то они и рассматриваться будут с соответственно увеличенного расстояния.

Для малоформатных негативов размером 24×36 мм требования к резкости должны быть повышены, так как для того, чтобы рассматривать с нормального расстояния 25 см снимок, сделанный на такой размер негатива, его нужно увеличить в два-три раза, а при этом увеличатся и кружки рассеяния.

Для малоформатных негативов за норму резкости принят диаметр кружка рассеяния $0,05—0,03$ мм, или, что то же самое, $\frac{1}{20}—\frac{1}{30}$ мм.

Факторы, обуславливающие глубину резко изображаемого пространства

Глубина резко изображаемого пространства тем больше, чем больше диаметр допустимого кружка рассеяния, чем меньше фокусное расстояние объектива, чем больше рас-

стояние от объектива до плоскости наводки, чем меньше диаметр действующего отверстия объектива.

Из этих четырех факторов первый является обусловленным размером снимка, второй — имеющимся объективом, третий — характером снимаемого объекта и лишь четвертый находится в полном и безусловном нашем распоряжении, и именно с помощью этого фактора мы и управляем глубиной резко изображаемого пространства, регулируя диаметр отверстия объектива изменением диафрагмы.

Можно, конечно, задиафрагмировать объектив так сильно, что наверняка получатся резко и ближние и дальние предметы, но:

во-первых, чрезмерное диафрагмирование заставит сильно увеличить выдержку, а это не всегда возможно и желательно (например, при съемке движущихся предметов, при съемке с рук);

во-вторых, излишняя резкость заднего плана часто бывает ненужной и даже вредной (например, при портретной съемке).

Умелое использование диафрагмирования заключается в том, чтобы получить резко изображаемое пространство именно в тех границах, в которых это необходимо, и чтобы относительное отверстие объектива (а следовательно, его светосила) было при этом наибольшим из возможных.

Практические расчеты глубины резко изображаемого пространства

В практике встречаются три рода задач:

1) получить резко изображаемое пространство от некоторого наиболее близкого предмета до бесконечности;

2) получить резко изображаемое пространство в определенных границах: от — до;

3) определить границы резко изображаемого пространства при наводке на определенный предмет, если диафрагмировать свыше известной величины мы не имеем возможности по условиям освещения и выдержки.

Каждая из этих задач может быть решена путем весьма простого расчета

При наводке по дистанционной шкале аппарата на бесконечность резко изображаемое пространство начнется с расстояния которое называется г и е р ф о к а л ь н ы м

расстоянием и может быть вычислено по следующей формуле:

$$D = \frac{f^2}{kz},$$

где D — гиперфокальное расстояние;

f — фокусное расстояние объектива;

k — знаменатель относительного отверстия (числа на шкале диафрагм объектива);

z — принятый диаметр кружка рассеяния.

Так, например, для объектива с фокусным расстоянием $f=50$ мм в малоформатной камере с размером кадра 24×36 мм при диафрагме $k=8$, если принять допустимый диаметр кружка рассеяния $z=\frac{1}{20}$ мм, резко изображаемое пространство при наводке на ∞ начнется с

$$D = \frac{50^2}{8 \cdot \frac{1}{20}} = \frac{2500 \cdot 20}{8} = \frac{50\,000}{8} = 6\,250 \text{ мм} = 6 \text{ м } 25 \text{ см.}$$

Рекомендуется каждому фотолюбителю сделать для своих фотообъективов расчет гиперфокальных расстояний при всех диафрагмах и иметь таблицы в записной книжке или в кармане футляра фотоаппарата.

Для практических расчетов величины гиперфокальных расстояний можно брать со значительным округлением.

Так, например, для объектива с фокусным расстоянием $f=50$ мм в малоформатной камере можно принимать гиперфокальные расстояния, равные указанным в табл. 3.

Таблица 3

Гиперфокальные расстояния для объектива
 $f=50$ мм при различных диафрагмах
(диаметр кружка рассеяния $z = \frac{1}{20}$ мм)

Диафрагма „k“	Гиперфокальное расстояние D (в м)
2	25
2,8	18
4	12
5,6	9
8	6
11	5
16	3
22	2,5

Наводка на ∞ не всегда целесообразна. Более практична наводка на гиперфокальное расстояние, так как при этом передняя граница резко изображаемого пространства будет находиться от аппарата на половине гиперфокального расстояния, а задняя граница — в ∞ .

Произведенный нами расчет для объектива с фокусным расстоянием 50 мм показывает, например, что если при диафрагме $k=8$ поставить объектив не на ∞ , а установить подстанционной шкале на расстояние 6 м 25 см, то на снимке будут достаточно резко изображены все предметы, начиная с половины гиперфокального расстояния, т. е. от 3 м 12 см до ∞ .

Объясняется это тем, что при наводке на ∞ точки заднего плана объекта изображаются в виде точек, а поскольку нас устраивает изображение, состоящее из кружков диаметром $\frac{1}{20}$ мм, то мы имеем возможность перенести плоскость наводки ближе к аппарату, а при этом ближе передвинется и передняя граница резко изображаемого пространства.

2

Желая получить резко изображаемое пространство в определенных границах, прежде всего нужно решить вопрос о том, на какое расстояние целесообразно произвести наводку.

Обратимся к рис. 51. Пусть $ПП$ и $ЗЗ$ — передняя и задняя границы пространства, которое должно быть резко изображенным. Нужно найти положение плоскости наводки $ЕЕ$ с таким расчетом, чтобы кружки рассеяния C_1 и B_1 были одинакового размера, так как в этом случае при последующем постепенном диафрагмировании объектива диаметры C_1 и B_1 одновременно достигнут предельной величины (0,1 или 0,05 мм). Если же положение $ЕЕ$ будет найдено неверно, то один из кружков (C_1 или B_1) достигнет предельной величины раньше, тогда как уменьшение другого кружка потребует добавочного диафрагмирования.

Расстояние до плоскости наводки при заданных границах резко изображаемого пространства находится так:

$$a = \frac{2a_2 a_1}{a_2 + a_1},$$

где a — расстояние от объектива до плоскости наводки;

a_2 — расстояние до задней границы резко изображаемого пространства;

a_1 — расстояние до передней границы резко изображаемого пространства.

Так, например, желая получить резко изображаемое пространство в пределах от 4 до 12 м от аппарата, наводить следует на дистанцию

$$a = \frac{2 \cdot 12 \cdot 4}{12 + 4} = \frac{96}{16} = 6 \text{ м}^*$$

Определив дистанцию наводки, определяют необходимую диафрагму по формуле

$$k = \frac{f^2}{2z} \cdot \frac{a_2 - a_1}{a_2 \cdot a_1}$$

(обозначения прежние).

Так, например, определим диафрагму для приведенного случая, т. е. для получения резко изображаемого пространства в пределах от 4 до 12 м при пользовании объективом с фокусным расстоянием $f = 50 \text{ мм}$ в малоформатной камере (приняв диаметр кружка рассеяния $z = \frac{1}{20} \text{ мм}$).

Вначале вычислим в миллиметрах величину $\frac{f^2}{2z}$:

$$\frac{f^2}{2z} = \frac{50^2}{2 \cdot \frac{1}{20}} = \frac{2500 \cdot 20}{2} = 25000 \text{ мм.}$$

Затем, выразив ее в метрах и подставив в формулу найдем нужную диафрагму:

$$k = 25 \cdot \frac{12 - 4}{12 \cdot 4} = \frac{25 \cdot 8}{48} \approx 4.$$

Для упрощения расчетов величину $\frac{f^2}{2z}$ полезно заранее подсчитать для всех имеющихся в наборе объективов и,

* Следует отметить, что встречающееся в некоторых руководствах указание о том, что можно наводить примерно на одну треть глубины объекта, является неверным. В приведенном примере при глубине объекта, равной 8 м, в соответствии с этим указанием можно наводить на расстояние $\frac{8}{3} = 2,7 \text{ м}$ от передней границы, т. е. на расстояние 6,7 м от аппарата,

тогда как правильно наводить на 6 м. Чем дальше была бы расположена задняя граница объекта, тем больше была бы ошибка. Этим неправильным указанием, вероятно, и вызываются столь частые у любителей ошибки, выражающиеся в недостаточной резкости переднего плана снимка и чрезмерной резкости заднего плана.

выразив в метрах, приписать к той таблице гиперфокальных расстояний, которую надо иметь при себе во время съемки. Для практических расчетов эта величина может быть также взята со значительным округлением. Так, например, для наиболее употребительных объективов в малоформатных камерах можно принимать величину $\frac{f^2}{2z}$ равной указанной в табл. 4.

Таблица 4

Величины $\frac{f^2}{2z}$ для различных объективов в малоформатной камере

f в мм	$\frac{f^2}{2z}$ в м
28	8
35	12
50	25
85	72
135	180

(при $z = \frac{1}{20}$ мм)

3

Определить переднюю и заднюю границы резко изображаемого пространства при наводке по определенному предмету и при известной диафрагме также очень легко, имея таблицу гиперфокальных расстояний:

$$a_1 = \frac{Da}{D+a}; \quad a_2 = \frac{Da}{D-a}$$

(обозначения прежние).

Например, малоформатной камерой с объективом $f=50$ мм при диафрагме $k=8$ снимаем предмет, находящийся на расстоянии 4 м. Нужно определить переднюю и заднюю границы резко изображаемого пространства. Гиперфокальное расстояние при $k=8$ находим по табл. 3, оно равно 6 м:

$$a_1 = \frac{6 \cdot 4}{6+4} = \frac{24}{10} = 2,4 \text{ м};$$

$$a_2 = \frac{6 \cdot 4}{6-4} = \frac{24}{2} = 12 \text{ м}.$$

Все расчеты при известном навыке и при предварительной заготовке таблицы гиперфокальных расстояний крайне

просты. Рекомендуются при расчетах пользоваться округлением чисел.

Опыт показывает, что расчеты требуют не больше времени, чем пользование громоздкими таблицами, имеющимися в справочниках, так как в этих таблицах часто не оказывается именно тех расстояний, с которыми пришлось встретиться, а это вынуждает прибегать к интерполированию (нахождению промежуточных значений), что требует дополнительного времени.

Калькуляторы для расчета глубины резко изображаемого пространства

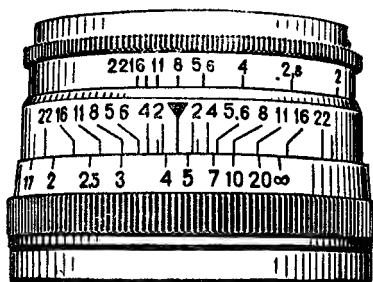
Для быстрого механического определения границ резко изображаемого пространства на оправы некоторых объективов нанесены шкалы глубины, состоящие из основной риски, по обе стороны которой симметрично расположены штрихи с цифрами, соответствующими ряду диафрагм.

Скользя вдоль дистанционной шкалы, шкала глубины устанавливается так, чтобы основная риска ее была совмещена с делением дистанционной шкалы, соответствующим расстоянию, на которое произведена наводка на резкость. Тогда штрихи с цифрами определенной диафрагмы по обе стороны основной риски укажут на дистанционной шкале соответственно расстояния до передней и задней границ резко изображаемого пространства.

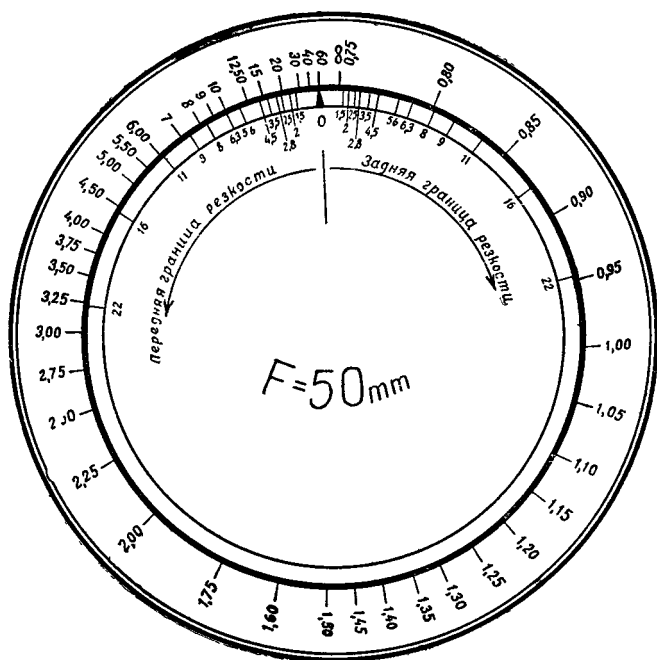
Так, например, на рис. 52, А основная риска шкалы глубины установлена приблизительно против расстояния 4,6 м дистанционной шкалы. Штрихи, соответствующие обозначениям диафрагм, показывают, что при диафрагме, например, 8 резко изображаемое пространство будет в границах от 3 до 10 м, а при диафрагме 11 — в границах от 2,6 до 19 м.

Удобны в обращении также дисковые калькуляторы глубины резко изображаемого пространства (рис. 52, Б). На нижнем (внешнем) диске наносится дистанционная шкала, на верхнем (внутреннем) — шкала диафрагм. Стрелка указателя верхнего диска устанавливается против расстояния наводки на нижнем (внешнем) диске. Расстояния до передней и задней границ прочитываются на нижнем диске против соответствующих штрихов диафрагмы верхнего диска по обе стороны указателя.

Дисковые калькуляторы, как и калькуляторы на оправе объективов, позволяют решать и обратную задачу —



A



Б

Рис. 52. Калькуляторы для определения глубины резко изображаемого пространства:

A — шкала глубины резкости на оправе объектива малоформатного аппарата; *Б* — дисковый калькулятор глубины резкости

определять расстояние до плоскости наводки и диафрагму, необходимые для получения резко изображаемого пространства в заданных границах.

При пользовании калькулятором всегда нужно знать, с расчетом на какой диаметр кружка рассеяния он сделан, так как чем больше принята допустимая норма нерезкости (чем больше диаметр принятого кружка рассеяния), тем большую глубину резко изображаемого пространства покажет калькулятор при прочих одинаковых условиях.

Так, например, при одинаковом расстоянии до плоскости наводки и при одинаковой диафрагме глубина резко изображаемого пространства, определенная по шкалам на оправе объектива «Юпитер-8» (в аппарате «Киев»), окажется больше, чем определенная по шкалам объектива «ФЭД» (в аппарате «ФЭД»), хотя и тот и другой объектив имеют одинаковое фокусное расстояние. Это, конечно, не значит, что объектив «Юпитер» дает большую глубину, чем объектив «ФЭД». Дело в требованиях, которые предъявлены к резкости изображения: шкалы на объективе «ФЭД» рассчитаны по кружку рассеяния $z = \frac{1}{30}$ мм, а шкалы на объективе

«Юпитер» — по кружку рассеяния $z = \frac{1}{20}$ мм. К сожалению, в нашей фотопромышленности до сих пор не установлен стандарт для шкал глубины.

Так, одни объективы для малоформатных камер имеют калькуляторы, показывающие глубину резко изображаемого пространства, исходя из нормы $z = \frac{1}{30}$ мм (например, «ФЭД», некоторые выпуски «Индустар-22»), другие — $z = \frac{1}{25}$ мм (последние выпуски «Юпитер») или $z = \frac{1}{20}$ (некоторые выпуски «Индустар-22», ранние выпуски «Юпитер»).

Выяснить, из расчета какого диаметра кружка рассеяния нанесена шкала глубины на объективе, можно следующим способом.

Установите основную риску шкалы глубины против отметки ∞ на дистанционной шкале. Определите переднюю границу резко изображаемого пространства при произвольно выбранной диафрагме (лучше брать ту диафрагму, штрих которой наиболее точно совпадает с каким-либо штрихом шкалы расстояний).

Известно, что расстояние до передней границы резко изображаемого пространства при наводке на ∞ есть гипер-

фокальное расстояние, которое определяется по формуле $D = \frac{f^2}{kz}$ (см. стр. 73). Формула эта может быть переписана для определения z в таком виде: $z = \frac{f^2}{kD}$; подставив в правую часть значения величин f , k и D , определяем диаметр кружка рассеяния z . При этом следует помнить, что все величины надо брать в одинаковых единицах измерения, лучше всего в миллиметрах.

Например, в аппарате «Киев» с объективом «Юпитер-8» $f=50$ мм устанавливаем знак ∞ против основной риски шкалы диафрагм (т. е. ставим объектив в фиксированное положение). Штрих «16» шкалы диафрагм приблизительно показывает переднюю границу резкости около 3 м. На глаз можно взять 3,1 м. Следовательно

$$z = \frac{50^2}{16 \cdot 3100} = \frac{2500}{49600} \approx \frac{25}{500} = 0,05$$

Естественно задать вопрос: по какой же норме z наиболее целесообразно определять глубину? Точного ответа здесь, однако, быть не может, так как окончательное суждение о резкости деталей снимка зависит от расстояния, с которого снимок будет рассматриваться, или от размера увеличения при печатании с негатива. При киносъемках, например, все расчеты ведутся, исходя из $z = \frac{1}{30}$ мм, так как увеличение на экране очень велико.

В общем виде можно сказать: чем крупнее будут производиться увеличения с негативов, тем меньшую норму z следует брать при расчетах.

Для увеличений с негативов 24×36 мм до 9×12 см и даже до 13×18 см вполне приемлема норма $z = \frac{1}{20}$ мм; для увеличений размером 18×24 и 24×30 см, очевидно, достаточна норма $z = \frac{1}{25}$ мм, а для более крупных увеличений лучше принять норму $z = \frac{1}{30}$ мм.

Зависимость глубины резко изображаемого пространства от разрешающей силы объектива

В числе факторов, влияющих на глубину резко изображаемого пространства, нами не указана конструкция объектива. Значит ли это, что объективы всех типов при равном

фокусном расстоянии и равном относительном отверстии дают одну и ту же глубину?

Чтобы разобраться в этом вопросе, следует вспомнить, что по причине аберраций изображения предметов, даже находящихся в плоскости наводки, не являются абсолютно резкими и что объективы обладают не одинаковой разрешающей силой.

Любая точка предмета изображается не точкой, а кружком рассеяния; причем размер кружка тем больше, чем меньше разрешающая сила объектива.

Следовательно, точка A_1 (см. рис. 51), строго говоря, не точка, а тоже кружок.

Диаметры кружков C_1 и B_1 будут оценены глазом в сравнении их с диаметром кружка A_1 . Если мы, условно приняв A_1 за точку, допустили для диаметров C_1 и B_1 размер 0,1 мм, то в случае, когда A_1 имеет довольно ощутимый размер, размеры допустимых диаметров для C_1 и B_1 следует также соответственно увеличить.

Рассматривая снимок, мы невольно оцениваем резкость отдельных его частей сравнительно друг с другом. Чем меньше резкость изображения предметов, лежащих в плоскости наводки, тем менее требовательны мы и к резкости предметов, ближе и дальше расположенных. Поэтому обычно кажется, что снимки, сделанные мягкорисующими объективами (с малой разрешающей силой), обладают большей глубиной.

ГЛАВА IX ТИПЫ ОБЪЕКТИВОВ

Простейшим фотографическим объективом является обыкновенная положительная линза.

Но поскольку простой линзе свойственны все виды аберраций, изображение, даваемое ею, более или менее удовлетворительно лишь в центральной части поля, на малой площади. На некотором расстоянии от центра изображение уже начинает терять резкость, появляются линейные искажения, на контурах деталей появляется цветная кайма, снижается освещенность. По мере удаления от центра поля все эти недостатки возрастают. Поэтому в фотоаппаратах одиночная линза в качестве объектива не применяется. Тем не менее опытные фотолюбители и профессионалы при съемке порт-

ретов и пейзажей специально для получения «мягких», «размытых» изображений иногда пользуются и простой линзой.

Современные фотообъективы представляют собой сложные оптические системы, состоящие из нескольких линз, как положительных, так и отрицательных. В некоторых объективах число линз доходит до 8—10 штук. Часть линз иногда бывает склеена между собой, составляя группы, другие же линзы стоят отдельно; причем все линзы центрированы, т. е. объектив имеет общую, единую оптическую ось.

Подбор и расположение линз в объективе и даже выбор материала для склейки линз производятся с учетом исправления аберраций.

Все аберрации полностью устранить невозможно. От того, какие из аберраций и в какой мере исправлены, зависит характер изображения, даваемого объективом. Иногда, создавая объектив, специально сохраняют, т. е. недоисправляют, некоторые из аберраций, чтобы рисунок, даваемый объективом, не был чрезмерно резким, или, как говорят, «жестким», так как для отдельных видов фоторабот умеренная нерезкость не только допустима, но и желательна.

По характеру рисунка объективы подразделяются на мягкорисующие, пластичнорисующие и жесткорисующие. Однако такое деление весьма условно, ибо границы между этими категориями установить невозможно. Характер нерезкости, или смягчения, рисунка не одинаков в разных случаях и зависит от того, за счет каких именно аберраций и в каком их соотношении достигнуто смягчение. Если, например, в объективе недоисправлены аберрации для точек на оси системы (сферическая аберрация, хроматическая аберрация), то это дает смягчение рисунка по всему полю снимка. Если же главным образом недоисправлены аберрации для косых пучков лучей (кома, кривизна поля изображения и т. п.), то при четком рисунке в центре будут в той или иной степени «размыты» края изображения. Степень нарастания нерезкости по мере удаления от центра опять-таки может быть различна. При съемке одними объективами резкость изображения снижается равномерно, при съемке другими — вблизи центра снимка резкость снижается незначительно, а при приближении к краям весьма ощутимо и, наконец, при съемке третьими — нарастание нерезкости начинается почти от центра снимка, но зато при приближении к краям нерезкость почти уже не увеличивается

Сама по себе размытость контуров тоже может иметь различный характер.

Представьте себе прямолинейную границу между черным и белым на трех снимках. На снимаемом объекте эта граница идеально четкая. На снимках же, вследствие аберраций объективов, она несколько размыта, причем величина размытости во всех трех случаях одинакова. В чем же заключается различие характера размытости?

На рис. 53 (I) показано, что граница между черным и белым на снимаемом объекте резкая, т. е. мы видим только

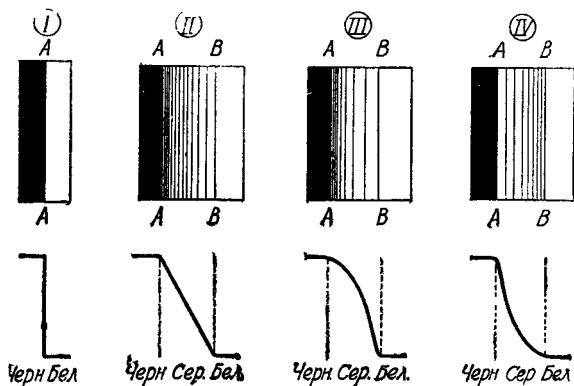


Рис. 53. Микроизображения границы между черным и белым участками на объекте и на снимках, сделанных разными объективами, и соответствующие им графики изменения оптических плотностей

черное и только белое. Но на том же рисунке (II, III и IV) показано, как будет выглядеть эта граница на снимках при очень большом увеличении. Во всех трех случаях между черным и белым участками проходит серая полоса постепенно уменьшающейся оптической плотности. Граница становится нерезкой. Ширина этой полосы во всех трех случаях одинакова (она равна AB), но распределение плотностей внутри полосы различно: в первом случае (II) убывание плотностей по мере продвижения от A к B равномерно, во втором (III) — убывание плотностей идет с возрастанием степени, т. е. вначале медленно, затем быстрее, а в третьем случае (IV), наоборот, с замедлением. В нижней части рисунка для каждого случая приведены графики пограничного изменения оптических плотностей.

Следовательно, хотя все три объектива дают одинаковую по величине размытость, снимки, сделанные этими объективами, не будут одинаковыми по характеру рисунка.

Таким образом, каждый тип объективов обладает своим специфическим и неповторимым характером рисунка изображения.

Зная конструкцию объектива, можно сделать предположительное заключение о возможной коррекции аберраций и, следовательно, получить некоторое, правда весьма общее и приближенное, представление о характере даваемого им изображения.

Все типы объективов можно объединить в две большие группы: 1) астигматы, 2) анастигматы *.

А с т и г м а т а м и называют менее совершенные объективы, в которых исправлены лишь некоторые аберрации.

А н а с т и г м а т а м и называют более совершенные объективы, в которых в той или иной мере исправлены все аберрации, в том числе и наиболее трудно устранимая аберрация — астигматизм.

В большинстве своем объективы имеют строение, при котором их главные плоскости оказываются расположенными внутри системы (как это показано на рис. 6 и 9). В некоторых же объективах, как уже упоминалось на странице 8, вследствие своеобразной конструкции главные плоскости оказываются вне системы. Объективы, у которых главные плоскости расположены впереди системы, называются **т е л е о б ъ е к т и в а м и**, а объективы, у которых главные плоскости расположены за системой, т. е. позади, называются **о б ъ е к т и в а м и с у д л и н н ы м з а д н и м о т р е з к о м**.

Мы вынесем рассмотрение этих двух групп объективов в отдельные подразделы, хотя по коррекции аберраций каждый из таких объективов может быть отнесен или к астигматам, или к анастигматам.

Отдельно рассмотрим также оптические системы с переменным фокусным расстоянием,

* Оба слова греческого происхождения «а» — частица отрицания, «stigma» — «точка» «Астигмат» — «безточечный» Название показывает, что лучи, исходящие из точки объекта, не собираются объективом в точку «Анастигмат» — все равно, что «стигмат», т. е. «точечный», так как «а» — в данном случае частица, отрицающая отрицание. Название говорит о высоком качестве объективов. Строго же говоря, ни один объектив не дает идеальной точки схода лучей

т. е. такие системы, которые дают возможность при съемке с одной и той же точки получать различные размеры изображения одного и того же предмета, не прибегая к смене объектива.

Астигматы

Простая линза — монокуляр. Как уже было сказано выше, любая положительная линза дает оптическое изображение.

Существуют три вида положительных линз: двояковыпуклые, плоско-выпуклые и вогнуто-выпуклые (мениски).

Наименьшую сферическую аберрацию имеют двояковыпуклые линзы с отношением радиусов кривизны образующих поверхностей $1 : 6$, но у таких линз очень велики аберрации косых пучков и эти линзы даже при малом действующем отверстии дают более или менее резкое изображение лишь на очень небольшом центральном участке поля.

Для фотографирования, т. е. для применения в качестве объектива, наиболее подходящей формой линзы является положительный мениск, обращенный выпуклой стороной внутрь камеры и с диафрагмой, расположенной впереди (рис. 54). Применяют такой мениск обычно при относительных отверстиях $1 : 11$, $1 : 8$. В тех случаях, когда допустима значительная нерезкость краевых частей снимка, такой мениск можно использовать при угле изображения порядка $25-30^\circ$, т. е. в пределах кадра, диагональ которого составляет примерно половину фокусного расстояния мениска. При большем относительном отверстии и при большем угле изображения применение менисков в любых случаях нецелесообразно.

Применяют монокуляр в отдельных случаях для портретной и пейзажной съемки. Снимки, сделанные монокулом, характерны размытостью контуров, особенно в краевых частях, и пониженным контрастом.

На рис. 55 приведены два снимка. Первый сделан объективом «Индустар-51» ($f=21$ см) при относительном отверстии $1 : 8$, камерой с размером кадра 13×18 см. Второй снят положительным мениском такого же фокусного расстояния и с таким же относительным отверстием, той же

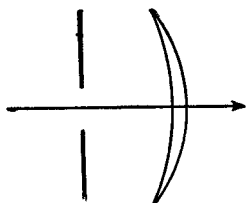
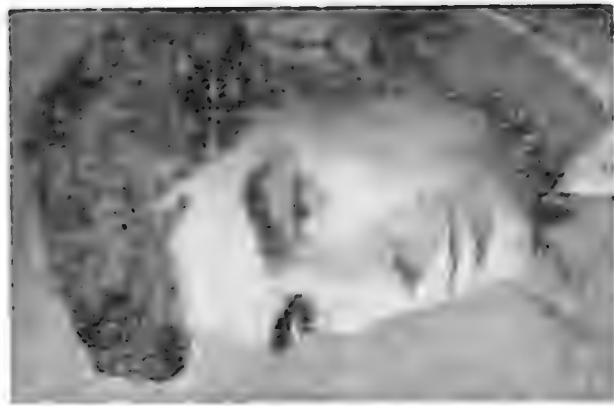


Рис 54 Положительный мениск



1



2

Рис. 55. 1 — снято объективом «Индустар-51» ($f=21$ см, 1:8); 2 — снято портретным объективом «Индустар-51» ($f=21$ см, 1:8)

камерой. Оба снимка отпечатаны контактным способом (без увеличения).

Ахроматическая линза — ахромат представляет собой тоже положительную одиночную линзу, которая, в отличие от монокля, склеена из двух линз: положительной, оптически более сильной, и отрицательной, оптически менее сильной. Линзы сделаны из разных сортов стекла. Сорта стекла подобраны так, чтобы хроматическая aberrация первой линзы нейтрализовалась хроматической aberrацией второй (рис. 56).

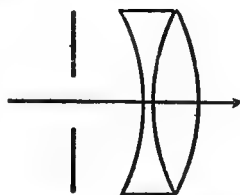


Рис. 56. Ахроматическая линза

В ахроматах исправлена хроматическая aberrация для двух цветов лучей, а также частично сферическая aberrация и изображения, даваемые ахроматами, значительно более четкие, чем изображения, даваемые моноклями при таких же относительных отверстиях.

При пейзажной и портретной съемке ахромат может быть использован как мягкорисующий объектив при относительных отверстиях 1 : 8 и 1 : 5,6 в пределах угла изображения 30 — 40°.

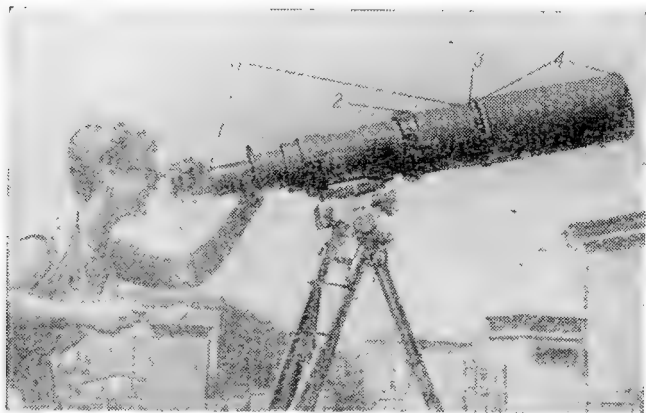


Рис. 57. Малоформатная камера с длиннофокусным объективом «Фернбильдлинза» фирмы «Астро» ($f=800$ мм, 1 : 5,6): 1 — тубус оправы; 2 — диафрагма; 3 — линза; 4 — светозащитный тубус (бленда)

В дешевых любительских фотокамерах удачные конструкции ахроматов используются даже при большем угле изображения, но с меньшим относительным отверстием.

Так, например, объектив-ахромат «Фронтар» фирмы «Цейсс-Икон» ($f=11$ см, $1:11$), которым снабжены любительские фотокамеры с размером кадра 6×9 см, имеет угол изображения около 50° и дает достаточно резкие изображения при съемке удаленных объектов.

Довольно широкое распространение получили простые ахроматы как длиннофокусные объективы для малоформатных камер, так как в этом случае используется очень малый угол изображения, т. е. лишь центральная часть поля, в пределах которой изображение достаточно резкое. Таков, например, объектив «Фернбильдлинза» фирмы «Астро» ($f=80$ см, $1:5,6$), показанный на рис. 57. Правда, эти объективы имеют большую длину тубуса оправы, громоздки и менее практичны, чем телеобъективы.

Перископ — объектив, состоящий из двух положительных линз, обычно менисков, расположенных симметрично по обе стороны диафрагмы и обращенных выпуклыми поверхностями наружу (рис. 58).

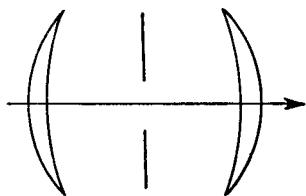


Рис. 58. Перископ

В перископах исправлена дисторсия. При крупномасштабных съемках, когда размеры изображения приближаются к натуральным размерам объекта, дисторсия практически отсутствует. В этих случаях в известной мере уменьшаются также хроматическая аберрация и кома. Остаются неисправленными астигматизм и кривизна поля изображения. Уменьшение этих аберраций может быть достигнуто только посредством диафрагмирования. Поэтому перископы используются при относительных отверстиях $1:12,5$, $1:11$ и, во всяком случае, не более чем при $1:8$.

Перископами обычно снабжаются дешевые любительские камеры, как, например, советская среднеформатная камера для катушечной пленки с размером кадра 6×6 см «Юнкор» ($f=6,5$ см, $1:8$).

Перископом является также известный мягкорисующий объектив «WZ» фирмы «Фохтлендер» ($f=18$ см, $1:9$).

Перископы и близкие к ним конструкции получили рас-

пространение в широкоугольных и сверхширокоугольных объективах, потому что при очень больших углах изображения наиболее вредной aberrацией, искажающей формы в краевых частях поля, является дисторсия, которая исправляется при симметричном расположении линз. В широкоугольных объективах применяют линзы очень выпуклой формы, приближающейся к полусферической. Это позволяет уменьшить длину оправы и использовать большой угол изображения.

Апланат — объектив, подобный перископу, но с ахроматическими линзами. Каждая половина апланата состоит из двух склеенных между собой линз — положительной и отрицательной (рис. 59).

В наиболее известных апланатах наружу обращены отрицательные линзы, в связи с чем этим отрицательным линзам придана форма менисков.

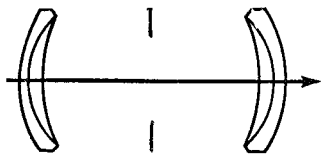


Рис. 59. Апланат

Апланат по исправлению aberrаций сочетает преимущества перископа и ахромата, т. е. в нем достигается значительное исправление сферической и хроматической aberrаций и дисторсии. Астигматизм в апланатах может быть исправлен в некоторой степени лишь для сравнительно небольшой центральной части поля изображения. Кривизна поля не дает возможности исправления астигматизма в пределах большого угла.

Такое исправление aberrаций позволяет применять апланаты для достаточно разнообразных видов любительской и профессиональной фотосъемки.

В течение многих лет апланаты широко применялись фотографами-профессионалами для съемки портретов и групп. Ими были снабжены многие павильонные камеры с размерами кадра 13×18 и 18×24 см. Наибольшее распространение имели апланаты с относительными отверстиями $1:6,8$ и $1:8$ и с углами изображения $55-60^\circ$. Однако при углах изображения более $40-45^\circ$ на краях снимка заметно сказывается кривизна поля изображения, вследствие чего наблюдаются масштабные искажения и снижение резкости. В наши дни апланаты почти не производятся, а старые апланаты применяются редко: их вытеснили более совершенные объективы — анастигматы.

Анастигматы двухкомпонентные — диалиты. Это объективы, состоящие из двух близких по своей конструкции половин, расположенных по обе стороны диафрагмы. Каждая половина анастигмата-диалита состоит из нескольких линз.

Если обе половины диалита совершенно одинаковы и расположены на одинаковом расстоянии от диафрагмы, то объектив называется **с и м м е т р и ч н ы м**. Если в конструкциях половин имеется различие в радиусах кривизны поверхностей линз, в сортах стекол или в расположении линз, то объектив называется **п о л у с и м м е т р и ч н ы м**.

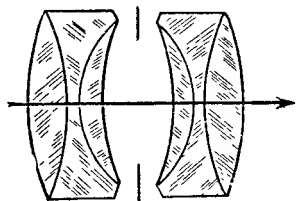


Рис 60. Схема объектива «Дагор»

Если все линзы каждой из половинок склеены в одну, то объектив называют **с к л е е н н ы м**. Если же кроме склеенных линз есть линзы, отделенные от других воздушными промежутками, то объектив называют **п о л у с к л е е н н ы м**. Если в объективе нет склеенных линз, то его называют **н е с к л е е н н ы м**.

Образцом симметричного склеенного анастигмата является «Дагор» Герца (рис. 60), состоящий из шести линз, склеенных по три.

Такая конструкция оказалась удачной и вызвала многочисленные подражания. Таковы, например, «Коллинеар» Фохтлендера, «Ортостигмат» Штейнгеля и ряд других, отличающихся от «Дагора» иным расположением линз внутри компонентов и сортами стекол. В настоящее время достаточно известен «Доппель-анастигмат» (Герлиц, ГДР) с фокусными расстояниями 18,21 и 24 см для камер с размером кадра 13×18 и 18×24 см, выполненный почти точно по схеме «Дагора» и рекомендуемый фирмой для научно-технических и репродукционных съемок.

В анастигматах типа «Дагор» хорошо исправлены все aberrации, а особенно хорошо исправлена дисторсия. Большинство из этих объективов — апохроматы.

При довольно большом угле изображения (70—80°) и при относительном отверстии 1 : 6,8 они дают высокую резкость изображения по всему полю. При меньших относи-

тельных отверстиях угол изображения может быть доведен даже до $90-100^\circ$ лишь при незначительном снижении резкости в краевых частях поля

Поскольку в объективах типа «Дагор» имеется только четыре границы стекло — воздух, то в них почти не наблюдается светорассеяния и они дают очень сочное изображение. Это их свойство является большим преимуществом при съемках с источниками света или бликующими поверхностями в кадре. Это свойство в сочетании с большим углом охвата пространства при отсутствии дисторсии для целого

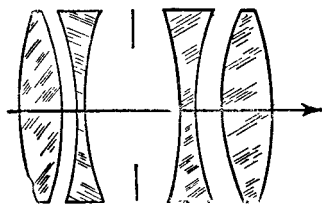


Рис. 61. Схема объектива «Целор»

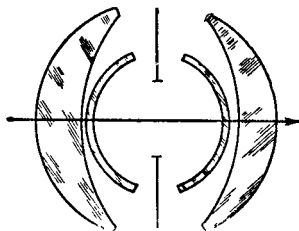


Рис. 62. Схема объектива «Топогон»

ряда работ гораздо более существенно, чем высокая светосила. Поэтому объективы этого типа часто применяются для технических съемок, для съемок внутри помещений с большими контрастами и бликующими деталями (музеи, выставки и т. п.), для съемки архитектуры и особенно рекомендуются для репродукционных работ и макросъемок.

Симметричные склеенные анастигматы часто называют двойными анастигматами, так как каждая из половин, будучи хорошо исправлена, может быть использована в отдельности как самостоятельный объектив. При этом фокусное расстояние, а следовательно, и масштаб получаемого изображения приблизительно в два раза увеличиваются, а относительное отверстие соответственно уменьшается и, конечно, изображение будет обладать дисторсионными искажениями.

Образцом несклеенного диалита является «Целор» Герца, состоящий из четырех отдельных линз. Внешние линзы положительные, внутренние — отрицательные (рис. 61).

Из советских фотообъективов близкую конструкцию имеет «Ортагоз» (см стр 108)

Объективы этого типа при хорошем исправлении дисторсии и кривизны поля изображения обычно имеют также хорошую хроматическую коррекцию. Хуже бывает исправлена кома, и иногда наблюдается довольно значительное светорассеяние. Тем не менее они обычно вполне универсальны — пригодны для самых разнообразных фоторабот. Особенно четкий рисунок изображения и высокую ортоскопичность они дают при крупномасштабных съемках и при съемках в натуральную величину.

Конструкции этого типа часто применяются в широкоугольных объективах. При этом оправа объектива делается

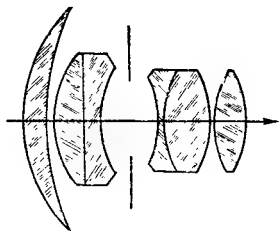


Рис. 63. Схема объектива «Биотар»

укороченной. Внешняя линза, обращенная наружу, в сторону предметного пространства, имеет большой диаметр и значительную выпуклость, вследствие чего легко подвергается засветке от источников контрового света и бликующих поверхностей, находящихся хотя и вне угла охвата объектива, но в достаточной близости от его границ. Это обстоятельство не должно забываться, потому что длинные светоза-

щитные тубусы (бленды) при широкоугольных объективах не применимы и предохранять объектив от засветки приходится рукой, шляпой, книгой или специальными зонтиками.

Широкоугольным объективом этого типа является, например, объектив «Топогон» ($f=2,5$ см, $1:4$) фирмы «Карл Цейсс» (Иена, ГДР). Объектив «Топогон» предназначен для малоформатных камер (рис. 62). Угол изображения этого объектива равен 82° .

Из советских объективов близкую конструкцию имеет «Орион» (см. стр. 112).

В специальную литературу этот тип объективов вошел под названием «Гаусс-тип», так как каждая из половин имеет конструктивное сходство с телескопическим объективом, предложенным еще в прошлом веке известным астрономом и математиком К. Гауссом.

Несколько усложненным вариантом «Гаусс-типа» является известный объектив «Биотар» фирмы «Карл Цейсс» (Иена, ГДР), схема которого приведена на рис. 63.

«Биотар» — полусклеенный шестилинзовый объектив;

выпускается как для малоформатных камер с размером кадра 24×36 мм и фокусными расстояниями 50, 58 и 75 мм, так и для кинокамер с размером кадра 16×22 мм и фокусными расстояниями 25, 35 и 40 мм. Светосила «Биотаров» очень высока: они выпускаются с относительными отверстиями 1 : 2, 1 : 1,5 и 1 : 1,4.

Конструкцию, близкую объективам «Биотар», имеют советские объективы «Гелиос» (см. стр. 111).

Анастигматы трехкомпонентные — триплеты. Это несимметричные объективы, составленные из трех компонентов, причем компонентами могут являться как отдельные линзы, так и группы линз.

Простой несклеенный триплет состоит из двух положительных линз, заключающих между собой третью, отрицательную линзу. Диафрагма располагается позади отрицательной линзы, т. е. между вторым и третьим компонентами (рис. 64).

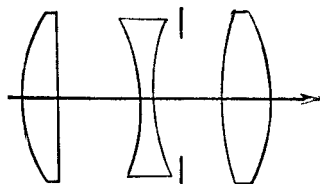


Рис. 64 Простой триплет

Средняя, отрицательная, линза в триплетах выполняет многозначную роль: во-первых, она, исправляя астигматизм, выравнивает поле изображения, во-вторых, исправляя хроматические aberrации обеих положительных линз, в значительной мере исправляет и сферическую aberrацию системы, причем не только для точек на оси, но и для косых пучков (кома) и, наконец, при соответствующем подборе радиусов поверхностей способствует получению изображения с весьма незначительными дисторсионными искажениями. Здесь следует иметь в виду, что вследствие несимметричности конструкции лучшее исправление дисторсии достигается для несимметричного расположения объекта и изображения. В универсальных объективах обычно дисторсия наиболее исправлена для удаленных объектов и наименее исправлена для близлежащих (т. е. при наводке на близкие дистанции), или, другими словами, обратно тому, как она исправляется в объективах симметричных конструкций.

Таким образом, имея несложную конструкцию, простой триплет дает при относительных отверстиях 1 : 4,5 и даже 1 : 3,5 довольно резкое изображение в пределах угла до 40° .

При больших светосилах резкость изображения заметно ухудшается.

Объективы типа триплет производятся почти всеми фирмами. Большую популярность приобрели объективы «Триотар» фирмы «Карл Цейсс» (Иена, ГДР), выпускаемые для малоформатных камер с $f=7,5$ см, $1:3,5$ и $f=13,5$ см, $1:4$ (рис. 65).

Из советских объективов простыми триплетами являются все объективы «Т» (см. стр. 106).

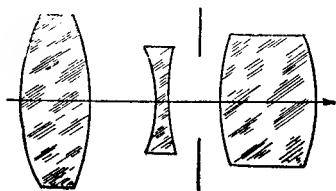


Рис. 65. Схема объектива «Триотар»

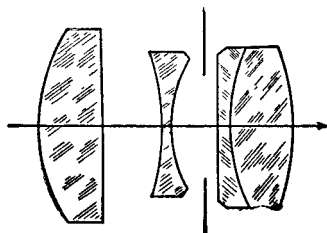


Рис. 66. Схема объектива «Тессар»

Значительно лучшую коррекцию аберраций по сравнению с простыми триплетами имеет четырехлинзовый триплет, отличающийся от простого триплета тем, что задний, положительный компонент в нем склеен из двух линз: положительной и отрицательной.

Всемирно известным объективом этой конструкции является «Тессар» Цейсса (рис. 66).

«Тессары» выпускаются с относительными отверстиями, достигающими $1:2,7$, и с большим диапазоном фокусных расстояний. Ими снабжаются камеры всех размеров, от малоформатных до павильонных.

Резкость изображения, даваемая «Тессарами», очень высока.

Хотя первый «Тессар» был рассчитан в 1902 году, четырехлинзовые триплеты этого типа являются до сих пор одной из самых распространенных конструкций и выпускаются многими фирмами. Таковы «Ксенар» Шнейдера (ФРГ), «Эльмар» Лейтца (ФРГ), «Примотар» Мейера (Гёрлиц, ГДР) и др.

Советские фотообъективы «Индустар» (см. стр. 106) имеют близкую им конструкцию и являются универсальными резкорисующими объективами.

Поскольку передняя положительная линза в триплетах, как в простых, так и в усложненных, имеет короткое фокусное расстояние, т. е. обладает большой оптической силой, то ее перемещение вдоль оси даже на небольшую величину значительно изменяет общее фокусное расстояние объектива. Это обстоятельство дает возможность изготовления триплетов, в которых наводка на резкость осуществляется не путем перемещения всего объектива, а лишь перемещением передней линзы, на оправе которой в этом случае и наносится дистанционная шкала. При этом, конечно, в известной степени ухудшается коррекция аберраций и при различных положениях линзы, т. е. при разных дистанциях наводки, будет несколько изменяться характер рисунка изображения. Такими объективами снабжают лишь аппараты, не предназначенные для получения высоких степеней резкости изображения, необходимых особенно в тех случаях, когда предвидятся очень большие увеличения с негативов.

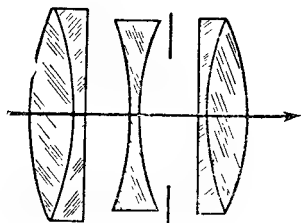


Рис. 67. Схема объектива «Биотессар»

Такова, например, конструкция советских фотообъективов «Т-35», которыми снабжены камеры «Эстафета», фотообъективов «Индустар-23», которыми снабжены камеры «Москва», и некоторых других (см. сводную таблицу отечественных фотообъективов в конце книги).

Некоторые объективы представляют сложные триплеты, в которых не только задняя, но и передняя линза склеена из двух, как, например, в объективе «Биотессар» Цейсса (рис 67).

Еще более сложными триплетами являются объективы «Зоннар» Цейсса и наши советские объективы «Юпитер». В этих объективах средний, отрицательный компонент развит в сложный элемент, состоящий из двух или трех склеенных линз. Задний, положительный компонент в некоторых объективах (например, «Юпитер-9» и «Юпитер-3») тоже состоит уже не из двух, а из трех линз.

Имеются и более сложные объективы, с количеством линз 8—9 и даже более.

Следует помнить, что при усложнении конструкции не всегда преследуется цель повысить резкость изображения.

В некоторых объективах конструкция усложнена для получения более пластичного, не слишком жесткого и не слишком контрастного изображения. В других случаях усложнением конструкции добиваются снижения резкости в центральной части поля изображения и повышения резкости по краям, для того чтобы получить более или менее одинаковый характер изображения по всей плоскости снимка. Иногда стремятся к снижению резкости изображения для предметов, находящихся в плоскости наводки, для получения большей постепенности или плавности спада резкости в глубину, т. е. для предметов, более удаленных от плоскости наводки.

Некоторые объективы имеют столь сложное строение, что по оптической схеме отнести их к тому или иному типу затруднительно. В таких случаях лишь изучение истории вопроса, т. е. знакомство с творчеством конструктора, помогает установить, от каких более ранних конструкций он отталкивался при создании нового объектива.

При более или менее простых конструкциях объективы одного названия всех фокусных расстояний имеют одинаковую оптическую схему. Объективы же более сложные, имея одинаковое название, но разные фокусные расстояния, зачастую отличаются по оптической схеме настолько, что даже число линз в них не одинаково. Однако принцип конструкции их обычно одинаков. И, что самое важное для практика, все объективы одного названия всегда имеют более или менее одинаковую коррекцию аберраций и, следовательно, дают сходный, а практически одинаковый характер изображения.

Телеобъективы

Объективы при расположении главных плоскостей внутри системы имеют длину (считая от фокальной плоскости) несколько большую, чем их фокусное расстояние. Вследствие этого применение длиннофокусных объективов связано с большими неудобствами в работе, так как аппарат с таким объективом очень громоздок и тяжел (см. рис. 57).

Это привело к созданию длиннофокусных объективов с укороченным задним отрезком, т. е. таких объективов, у которых главные плоскости вынесены вперед и линзы объектива при том же фокусном расстоянии значительно приближены к плоскости изображения.

Такая оптическая система называется телеобъективом.

Линзовые телеобъективы. Чтобы понять, как в принципе достигается перемещение главных плоскостей, разберем следующий случай (рис. 68).

Параллельный пучок лучей падает на положительную линзу A и преломляется ею. Если бы преломленный пучок не встретил на своем пути линзы B , то его лучи собрались бы в точку фокуса F , но на пути пучка поставлена отрицательная линза B , которая, вновь преломляя лучи пучка, отклоняет их в сторону от оптической оси и точка фокуса отдалается от линзы; лучи пересекутся теперь в точке F_1 . Чем сильнее линза B , тем дальше отодвинется точка

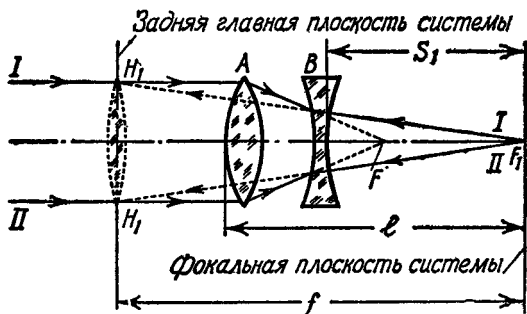


Рис. 68. Ход лучей в телеобъективе

фокуса. Конечно, линза B не должна быть очень сильной, иначе пучок лучей может оказаться параллельным или даже расходящимся и пересечения лучей не произойдет.

Таким образом, фокус нашей системы из двух линз находится в точке F_1 .

Можно ли эту систему заменить одной линзой? Если можно, то где следует поставить эту линзу и какое она должна иметь фокусное расстояние?

Продолжим сходящиеся в точке F_1 лучи I и II , т. е. крайние лучи пучка, в обратном направлении до пересечения с лучами I и II параллельного пучка. Плоскость H_1H_2 , проведенная через точки пересечения, покажет место, где могла бы находиться положительная линза, эквивалентная по своему действию нашей системе, а расстояние от этой плоскости до точки F_1 будет фокусным расстоянием этой эквивалентной линзы. Другими словами: H_1H_2 является зад-

ней главной плоскостью линзы, которая дала бы изображение такого же масштаба, как наша система. Следовательно, f есть фокусное расстояние нашей системы, а H_1H_2 — ее задняя главная плоскость.

Рассмотренная система и есть телеобъектив. При фокусном расстоянии f задний отрезок системы равен S_1 , длина всей системы камера — объектив (от передней вершины передней линзы до фокальной плоскости) равна l .



Рис 69. Схема телеобъектива «Телетессар»

Отношение $\frac{f}{S_1}$ называется телеувеличением объектива и в литературе на русском языке обычно обозначается буквой «Г». Следует помнить, что отношение «Г», хотя и назы-

вается телеувеличением, непосредственной связи с масштабом изображения не имеет; оно характеризует лишь большую или меньшую компактность системы.

Обычно как положительный (передний), так и отрицательный (задний) компоненты телеобъектива — сложные, т. е. состоят из нескольких линз. На рис. 69 приведена оптическая схема одного из старейших телеобъективов — «Телетессар» Цейсса. Он имеет телеувеличение $\Gamma=2$.

Из советских объективов телеобъективами являются, например, объективы «Таир» (см. стр. 114).

Зеркально-линзовые телеобъективы. Еще большая компактность достигается в зеркально-линзовых телеобъективах. Здесь прямой ход лучей преобразуется в зигзагообразный (рис. 70).

В зеркально-линзовых телеобъективах основными оптическими элементами являются сферические зеркала. Положительным компонентом служит вогнутое зеркало A , а отрицательным — выпуклое зеркало B . Линза же B у входа в объектив и линза Γ на выходе лучей из объектива в основном играют защитную роль — предохраняют внутренность объектива и поверхности зеркал от внешних воздействий (пыли, влаги), но могут, конечно, также быть включены и в оптическую систему, влияя на величину фокусного расстояния объектива и компенсируя сферические aberrации, вносимые зеркальными компонентами. Применение цилиндрических или конических диафрагм (D) устраняет возможность засветки изображения.

Зеркально-линзовые объективы при больших фокусных расстояниях имеют сравнительно малую длину.

Так, например, советский зеркально-линзовый телеобъектив «МТО-500» при фокусном расстоянии 50 см имеет длину 17 см, а объектив «МТО-1000» при фокусном расстоянии 1 м имеет длину всего лишь 26 см.

Правда, при значительном уменьшении длины зеркально-линзовые объективы по сравнению с обычными (линзовыми) объективами такого же фокусного расстояния и

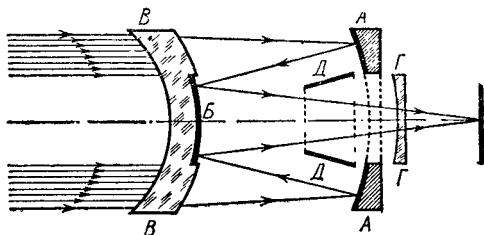


Рис. 70. Ход лучей в зеркально-линзовом телеобъективе

такой же светосилы имеют несколько больший диаметр, так как пропускают только краевые лучи пучков, падающих на их первую поверхность, т. е. имеют кольцевую форму зрачка. Ирисовая диафрагма в этих объективах не применяется, их относительное отверстие постоянно.

Следует учесть, что обозначение относительного отверстия зеркально-линзовых объективов дается в эффективном значении, т. е. с учетом лишь того количества света, которое проходит через кольцевой зрачок объектива и участвует в построении оптического изображения. Пользоваться этим значением можно лишь для экспозиционных расчетов; при расчетах границ резко изображаемого пространства этим значением пользоваться нельзя. Нельзя, следовательно, пользоваться и таблицами глубины резко изображаемого пространства, так как они рассчитаны по геометрическому относительному отверстию.

Объективы с удлиненным задним отрезком

В последнее время широкое распространение получили фотоаппараты с зеркальным визированием.

Откидное зеркало, расположенное в таких камерах между объективом и светочувствительным слоем, не дает

возможности значительного приближения объектива к пленке и препятствует тем самым применению короткофокусных объективов обычной конструкции.

Это обстоятельство обусловило появление объективов, у которых главные плоскости вынесены назад и, следовательно, объектив при столь же коротком фокусном расстоянии удаляется от пленки. Получается как бы «телеобъектив наоборот».

Характерным признаком такой конструкции является передняя отрицательная линза большого диаметра, отстоящая на значительном расстоянии от остальных компонентов объектива.

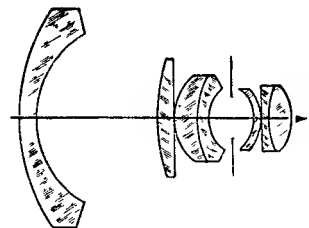


Рис. 71. Схема объектива «Флектогон»

На рис. 71 приведена оптическая схема объектива с удлинённым задним отрезком «Флектогон» ($f=3,5$ см, $1:2,8$), выпущенного фирмой «Карл Цейсс» (Иена, ГДР) специально для зеркальных малоформатных камер, в которых объектив «Биогон», с таким же фокусным рас-

стоянием применяющийся в незеркальных камерах, неприменим. Задний отрезок объектива «Флектогон» равен 36,8 мм.

В 1960 году этой же фирмой выпущен «Флектогон» ($f=2,5$ см, $1:4$), задний отрезок которого равен 38 мм. Этот объектив также предназначен для зеркальных малоформатных камер, так как объектив «Топогон» такого же фокусного расстояния и с таким же относительным отверстием, описанный ранее, имеет задний отрезок 19,5 мм и также может применяться только в незеркальных камерах.

Из советских фотообъективов близкую конструкцию имеет объектив «Мир-1» (см. стр. 112).

Некоторое неудобство применения светосильных объективов с удлинённым задним отрезком состоит в том, что они имеют сравнительно большие габариты. Кроме того, большой диаметр и крутая выпуклость передней линзы создают известные трудности при съёмке, требуя тщательного предохранения поверхности объектива от засветки. Объективы этого типа дают иногда и довольно заметные дисторсионные искажения, что должно быть учтено при работе ими, особенно при архитектурной съёмке.

Оптические системы с переменным фокусным расстоянием

Для фотолюбителя, а тем более для фоторепортера весьма заманчиво иметь в фотоаппарате такой объектив, который мог бы превращаться из обычного универсального как в широкоугольный, так и в длиннофокусный, т. е. заменил бы собой весь набор сменных объективов.

Такие объективы имеются. При киносъемке и в телевизионных аппаратах они уже повсеместно употребляются. Оптические схемы их довольно разнообразны, так как задача создания оптической системы с переменным углом изображения, или, что то же самое, с переменным фокусным расстоянием имеет несколько решений.

Вариообъективы. Первое решение основано на том, что при изменении промежутка между компонентами телеобъектива изменяется его фокусное расстояние.

Телеобъективы с подвижными элементами изготавливались несколькими фирмами, но широкого распространения не получили главным образом из-за малой их светосилы. Увеличение же светосилы, как это нетрудно понять из рис. 68, связано со значительным увеличением диаметра передней (положительной) линзы, а последнее влечет за собой увеличение аберраций, исправление которых для целого ряда положений линз весьма сложно.

Второе решение — изменение положения средней линзы в триплете.

Это решение более практично, чем первое, но также связано с трудностями. Во-первых, опять-таки весьма сложно получить одинаковость коррекции аберраций системы для всех положений средней линзы; во-вторых, для того, чтобы резкое изображение при изменении фокусного расстояния находилось все время в одной и той же плоскости, необходимо одновременно с перемещением среднего компонента перемещать и весь объектив вдоль оси, причем закономерности перемещения среднего компонента и всего объектива не одинаковы; в-третьих, при изменении фокусного расстояния изменяется и относительное отверстие объектива, а значит, и его светосила.

Несмотря на эти трудности, объективы с переменным фокусным расстоянием (их называют также *вариаобъективами*) созданы и выпускаются для киносъемки и телесъемки. Они представляют собой сложные многолинзо-

вые системы, значительно отличающиеся от принципиальной трехлинзовой схемы.

Разработаны такие системы и в Советском Союзе.

Трансфокаторы. Третье решение, наиболее практичное, заключается в том, что перед обычным объективом с постоянным фокусным расстоянием помещается телескопическая насадка с переменным угловым увеличением; такая насадка называется трансфокатором и сама по себе является афокальной, т. е. изображения не дает.

Принцип такого решения легко понятен из рассмотрения рис. 72.

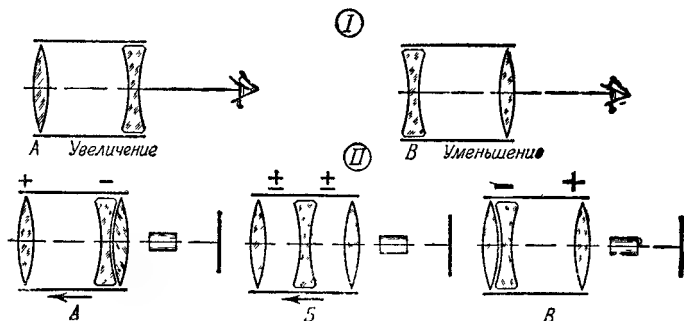


Рис. 72. Принцип устройства трансфокатора

В верхней части рисунка (I) показана телескопическая система Галилея, применяемая в обычном театральном бинокле. Когда положительная линза расположена впереди отрицательной (так смотрят через бинокль в театре), то глаз видит предметы увеличенными (A). Если же смотреть через бинокль в обратном положении, то предметы кажутся уменьшенными (B).

В нижней части рисунка (II) глаз заменен объективом, а система составлена из трех линз: двух положительных малой оптической силы и одной отрицательной с большой оптической силой. В положении A отрицательная линза находится в контакте с задней положительной и задний компонент в совокупности является отрицательным, т. е. насадка работает на увеличение. В другом крайнем положении (B) отрицательная линза переведена в контакт с передней положительной и отрицательным стал передний компонент; при этом насадка работает на уменьшение. Очевидно

в некотором среднем положении (Б) отрицательная линза нейтрализует действие обоих положительных, и при этом насадка не окажет никакого действия: изображение будет такого размера, как если бы насадки не было.

Существуют и другие схемы трансфокаторов, но основаны все они примерно на том же принципе.

Большим преимуществом трансфокаторов перед объективами с переменным фокусным расстоянием является то, что здесь при перемещении компонента перемещаются и главные плоскости всей системы (объектив+насадка), причем перемещаются так, что задний отрезок, а следовательно, и положение фокальной плоскости остаются постоянными. Таким образом, при применении трансфокатора не требуется передвижения всей системы относительно пленки.

Вторым преимуществом является то, что при изменениях фокусного расстояния относительно отверстие системы, а значит, и ее светосила не изменяются.

Происходит это потому, что при изменении фокусного расстояния соответственно изменяется и диаметр действующего отверстия.

На рис. 73 видно, что когда трансфокатор работает на увеличение (верхняя часть рисунка — А), пучок параллельных лучей, упавший на переднюю поверхность первой линзы, будет полностью пропущен трансфокатором, и, следовательно, диаметр действующего отверстия будет равен d_1 . Когда же трансфокатор работает на уменьшение (нижняя часть рисунка — В), передний компонент оказывается рассеивающим и часть крайних лучей пучка будет срезаться оправой. На задний компонент попадут лишь центральные лучи пучка в пределах диаметра d_2 . Величины d_1 и d_2 находятся в тех же соотношениях, что и соответственные фокусные расстояния системы при крайнем правом и крайнем левом положениях среднего компонента, и отношение

$\frac{d}{f}$ остается постоянным

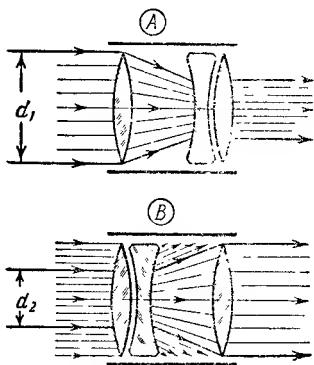


Рис 73 Изменение диаметра действующего отверстия трансфокатора

Это последнее преимущество имеет, однако, и оборотную сторону, так как препятствует созданию малогабаритных трансфокаторов для светосильных объективов. Ведь пучки лучей, выходящих из трансфокатора, во всех случаях должны заполнять входной зрачок объектива, а для этого диаметр передней линзы трансфокатора должен значительно превышать диаметр передней линзы объектива

Поэтому-то основное распространение трансфокаторы и получили в узкоплёночных киноаппаратах, так как там при малых фокусных расстояниях даже светосильные объективы имеют сравнительно малые зрачки.

Трансфокаторные блоки. Каждый трансфокатор, поскольку он представляет насадку, может в принципе применяться с объективом любой конструкции (конечно, при условии, что выходящие из него пучки лучей заполняют входной зрачок объектива), но наиболее целесообразно, в смысле лучшей коррекции аберраций, применять его лишь с тем объективом, для которого он рассчитан.

Поэтому фирмы, выпускающие трансфокаторы, зачастую заключают их в одну общую оправу с объективом. Получается блок: объектив+трансфокатор.

Такие блоки иногда называют также вариаобъективами, или объективами с переменным фокусным расстоянием, хотя это неверно, так как вариаобъективом в точном смысле называется объектив, в котором изменение фокусного расстояния достигается без применения афокальной насадки.

Современные трансфокаторы представляют собой сложные многолинзовые системы.

Так, например, известный трансфокатор «Пан-Синор» французской фирмы «С. О. М. Бертио», предназначенный для киносъёмки на 35-мм киноплёнке и плавно изменяющий фокусное расстояние от 38,5 до 154 мм, вместе с объективом имеет 14 линз.

Из-за сложности расчёта и изготовления, больших габаритов и тяжелого веса, а также из-за дорогой цены трансфокаторы, как и вариаобъективы, в фотографии широкого распространения пока не получили.

Одним из последних достижений фототехники в области производства систем с переменным фокусным расстоянием является «Зумар», выпущенный совместно фирмами «Фохтлендер» (ФРГ) и «Зумар» (США) для зеркальных малофор-

матных камер «Экзакта», «Практика» и др. с относительным отверстием $1 : 2,8$ и изменяющимся фокусным расстоянием в пределах $3,6 - 8,2$ см и со шкалой дистанций наводки от $1,3$ м до ∞ . Однако при изменении фокусного расстояния менее чем в три раза «Зумар» состоит из 14 линз и весит 780 г.

ГЛАВА X

ОСНОВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ФОТООБЪЕКТИВОВ

Объективы, выпущенные мировой оптической промышленностью с начала ее существования, имеют множество самых разнообразных названий. Причем даже объективы одинаковой конструкции и обладающие одинаковыми оптическими качествами, но выпущенные разными фирмами, имеют разные названия.

Наша оптическая промышленность объективы, имеющие одинаковое или близкое строение, выпускает всегда под одним названием. Таким образом, название нашего объектива говорит о принадлежности его к той или иной оптической схеме и позволяет в общих чертах представить характер даваемого им изображения.

Рассмотрим основные оптические схемы отечественных фотообъективов общего назначения, ориентировочно определим их оптические качества и область практического применения.

Двухлинзовые несклеенные астигматы «Перископ»

Объективы «Перископ» (рис. 74) — наиболее простые и дешевые. Выпускаются они с малыми относительными отверстиями, потому что при малых относительных отверстиях аберрации объектива не слишком велики и почти не ощущаются в изображениях, полученных с негатива путем контактной печати или при небольшом увеличении.

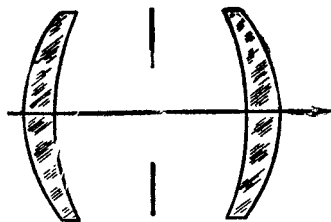


Рис. 74 Схема объектива
«Перископ»

Объективами «Перископ» снабжаются простейшие любительские камеры, как, например, аппарат «Юнкор» для катушечной пленки с размерами кадра 6×6 и $4,5 \times 6$ см, объектив $f=6,5$ см, $1:8$.

Трехлинзовые несклеенные анастигматы «Триплет» («Т»)

Объективы «Т» (рис. 75) — наиболее простые из трехкомпонентных анастигматов. Выпускаются они с относительными отверстиями $1:4,5$ и $1:3,5$, при которых дают достаточно резкое изображение и позволяют получить негативы, допускающие четырех-пятикратное увеличение.

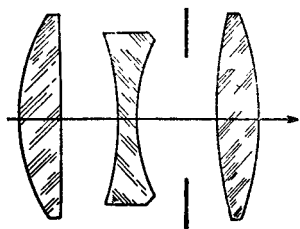


Рис. 75. Схема объектива «Триплет»

Объективы «Т» универсальны, т. е. пригодны для самых разнообразных видов любительской фотосъемки: пейзаж, портрет, групповые снимки, архитектура и пр.

Объективами «Т» снабжаются как камеры среднего формата, с размерами кадра 6×6 см («Комсомолец», «Любитель», стереокамера «Спутник», «Эстафета», «Вымпел»), так и любительские малоформатные камеры («Юность», «Смена»).

Угол изображения объективов «Т» — $55 - 60^\circ$, т. е. они дают изображение достаточно резкое и достаточно равномерно освещенное на поле, диаметр (или диагональ) которого равен фокусному расстоянию объектива.

В среднеформатные камеры ставятся объективы «Т» с фокусными расстояниями $7,5 - 8$ см, а в малоформатные камеры — с фокусными расстояниями $4 - 4,5$ см.

Объективы «Т» бывают как с неподвижными компонентами, так и с передвигающейся передней линзой для фокусировки объектива. В камеры среднего формата ставятся объективы с передвигающейся линзой («Т-21», «Т-22», «Т-35») и с вмонтированным центральным затвором.

Четырехлинзовые анастигматы — триплеты «Индустар»

Объективы «Индустар» (рис. 76) — сложные триплеты типа «Тессар» (см. стр. 94).

Выпускаются они с относительными отверстиями до $1:2,8$. Это универсальные резкорисующие объективы с вы-

сокой разрешающей силой, пригодные для всех видов любительской и профессиональной фотосъемки.

Объективами «Индустар» снабжаются фотокамеры всех размеров, от малоформатных до павильонных с размером кадра 18×24 см.

Объективы разных шифров не вполне одинаковы по коррекции аберраций и разрешающей силе, но в общем все они дают весьма четкое изображение по центру поля и незначительное уменьшение четкости к краям. Наиболее жесткорисующий объектив — «Индустар-50» ($f=5$ см, $1:3,5$) — предназначен для использования в малоформатных камерах и в связи с наилучшей коррекцией хроматической аберрации вполне пригоден для цветных съемок. Хорошую коррекцию аберраций, несмотря на повышенную светосилу имеет и объектив «Индустар-29» ($f=8$ см, $1:2,8$) для камеры «Салют».

Объективы «Индустар-37» ($f=30$ см, $1:4,5$) и «Индустар-51» ($f=21$ см, $1:4,5$) рассчитаны для павильонных камер с размерами кадра 18×24 и 13×18 см. Хотя по данным разрешающей силы они и уступают другим объективам, но если учесть большой размер негатива, не требующий последующего увеличения, четкость даваемого ими изображения такова, что их можно использовать для любых, в том числе технических и научных съемок. Наименее четкий рисунок дают «Индустары» с перемещающейся передней линзой, как, например, «Индустар-23» (аппараты «Москва»).

Выпускаются также комплекты объективов «Индустар», созданные специально для репродукции с очень хорошим исправлением дисторсии для близких расстояний. В этих объективах практически отсутствует также хроматическая разность величин изображений, что обеспечивает получение одинакового масштаба на негативах, снятых через разные светофильтры при цветном репродуцировании. Эти объективы пригодны и для картографических работ.

Объективы «Индустар» с буквой «У» при шифре предназначены для использования в увеличителях. Разрешающая сила этих объективов ниже, чем у объективов, предназначенных для съемки, но зато резкость изображения одинакова по всему полю.

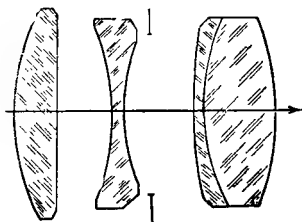


Рис. 76 Схема объектива «Индустар»

Четырехлинзовые несклеенные анастигматы «Ортагоз»

Объектив «Ортагоз» (рис. 77) — полусимметричный диалит (см. стр. 91). Хотя объективы этой схемы могут давать изображения высокого технического качества, советской оптической промышленностью был выпущен лишь один вид объектива «Ортагоз»

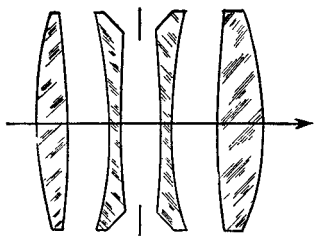


Рис. 77. Схема объектива «Ортагоз»

($f=13,5$ см, $1:4,5$). Им снабжались камеры «Фотокор № 1» с размером кадра 9×12 см и с двойным растяжением меха для съемок в натуральную величину. Сейчас выпуск как этих камер, так и объективов «Ортагоз» прекращен. Однако в обиходе эти аппараты еще встречаются.

Объектив «Ортагоз» пригоден для любых съемок, а особенно хорош для крупномасштабных съемок с близкого расстояния. Изображение, даваемое им, обладает высокой четкостью и контрастом.

При использовании одной задней половины объектива (при вывинченной передней) он может быть использован также для получения весьма своеобразных пейзажных и портретных снимков с мягким рисунком.

Многолинзовые полусклеенные анастигматы «Юпитер»

Объективы «Юпитер» (рис. 78—83) представляют собой несимметричные пяти-семилинзовые анастигматы. Большинству из них близки по конструкции соответствующие объективы «Зоннар» Цейсса.

За исключением широкоугольного объектива «Юпитер-12», который, будучи аналогичным «Биогону» Цейсса, является диалитом, все объективы «Юпитер» — сложные триплеты. Первый компонент — положительный мениск с фокусным расстоянием несколько большим, чем фокусное расстояние всего объектива. Средний, отрицательный компонент состоит из двух-трех линз. Задний компонент, положительный, расположенный за диафрагмой, в большинстве объективов тоже сложный.

Несмотря на некоторое различие в конструкции, все объективы «Юпитер» дают одинаковый характер изобра-

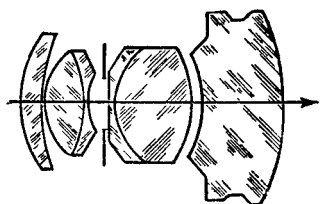


Рис. 78 Схема объектива
«Юпитер-12» ($f=35$ мм, 1 : 2,8)

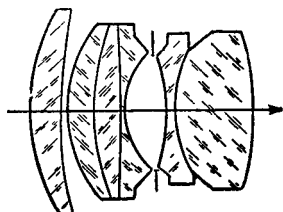


Рис. 79 Схема объектива
«Юпитер-8» ($f=50$ мм, 1 : 2)

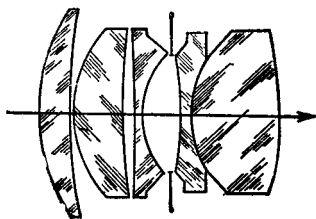


Рис. 80. Схема объектива
«Юпитер-17» ($f=50$ мм, 1 : 2)

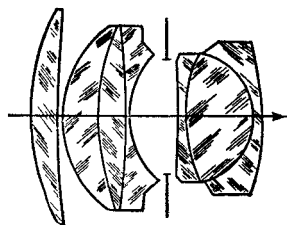


Рис. 81. Схема объектива
«Юпитер-3» ($f=50$ мм, 1 : 1,5)

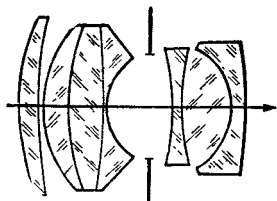


Рис. 82. Схема объектива
«Юпитер-9» ($f = 85$ мм, 1 : 2)

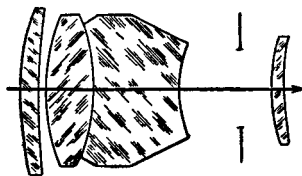


Рис. 83. Схема объектива
«Юпитер-11» ($f=135$ мм, 1 : 4)

жения. Рисунок, даваемый ими, менее резкий, чем при применении большинства «Индустаров», что особенно заметно на краях поля. Зато объективы «Юпитер» имеют большую светосилу.

Объективы «Юпитер» являются универсальными и пригодны для всех видов любительской и репортажной съемки, даже в условиях пониженной освещенности.

Из аберраций несколько хуже других исправлена дисторсия, вследствие чего для фотограмметрических съемок и для технической репродукции объективы «Юпитер» применять не рекомендуют.

Предназначены объективы «Юпитер» для малоформатных камер и выпускаются в оправах трех типов:

а) с резьбовым креплением для незеркальных камер типа «Зоркий»;

б) с резьбовым креплением для зеркальных камер типа «Зенит»;

в) с байонетным замком для камер «Киев».

В камерах зеркального типа могут использоваться лишь объективы «Юпитер» с фокусным расстоянием 8,5 см и более. Объективы же с фокусным расстоянием 5 см и короче в зеркальных камерах использованы быть не могут из-за малого заднего отрезка.

Оптическая конструкция объективов «Юпитер» такова, что задняя главная плоскость расположена в передней части объектива. В табл. 5 приведены данные, позволяющие графически представить взаиморасположение объектива и пленки для наиболее распространенных объективов «Юпитер».

Таблица 5

Величины фокусных расстояний заднего и переднего отрезков и длины системы в некоторых наиболее распространенных фотообъективах «Юпитер» (в мм)

Объектив	Фокусное расстояние	Задний отрезок	Длина объектива	Передний отрезок
«Юпитер-12»	35,74	7,80	34,35	36,68
«Юпитер-3»	52,54	23,61	38,30	43,44
«Юпитер-8»	52,45	27,75	31,74	49,77
«Юпитер-9»	84,51	40,77	53,85	74,07
«Юпитер-11»	133,14	62,47	59,35	165,10

Примечания: 1. Задний отрезок не следует путать с рабочим отрезком. Рабочим отрезком называется расстояние от фокальной плоскости до

спорной поверхности оправы объектива. Следовательно, величина рабочего отрезка зависит от конструкции камеры и оправы объектива и все сменные объективы к данной камере должны иметь одинаковые рабочие отрезки (так, например, рабочие отрезки объективов в оправе для камер «Зоркий» имеют длину 28,8 мм, а для камер «Зенит» — 45,3 мм). Величина же заднего отрезка объектива зависит только от его оптической конструкции и у разных объективов различна.

2 Под длиной объектива в данной таблице понимается расстояние между центральными точками передней и задней поверхностей крайних линз объектива.

Шестилинзовые полусклеенные анастигматы «Гелиос»

Объективы «Гелиос» (рис. 84, 85) — полусимметричные сложные диалиты, так называемого «Гаусс-типа» (см. стр. 92). Им близки объективы «Биотар» Цейсса.

Первый анастигмат подобной конструкции был выпущен фирмой «Цейсс» еще в прошлом веке под названием «Планныр».

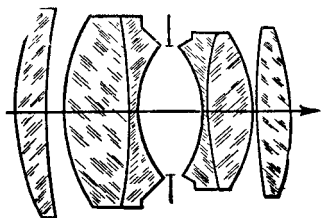


Рис. 84. Схема объектива «Гелиос-44» ($f=58$ мм, 1 : 2)

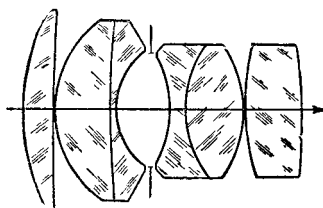


Рис. 85. Схема объектива «Гелиос-40» ($f=85$ мм, 1 : 1,5)

В объективах «Гелиос» достигнуто хорошее исправление всех aberrаций, и они пригодны, как и объективы «Юпитер», для всех видов любительской и репортажной съемки. Вследствие хорошей хроматической коррекции они с успехом могут применяться и для цветной съемки.

Наибольшее распространение эта оптическая схема получила в производстве киносъёмочных объективов.

Для малоформатных фотокамер с размером кадра 24×36 мм выпущены объективы «Гелиос-44» ($f=5,8$ см, 1 : 2) и «Гелиос-40» ($f=8,5$ см, 1 : 1,5). Разработан также фотообъектив «Гелиос-65» ($f=5$ см, 1 : 2). Задние отрезки всех этих объективов имеют длину около 38 мм; объективы могут применяться в зеркальных камерах.

Выпускаются объективы в оправе для камер «Зенит» и «Старт» и снабжены кольцом для предварительной установки диафрагмы, а «Гелиос-44» в оправе для камеры «Старт» имеет устройство для автоматической установки диафрагмы на момент выдержки (так называемая прыгаю-

шая диафрагма). Оба эти устройства удобны тем, что во время визирования кадра изображение имеет высокую освещенность.

Широкоугольные анастигматы с удлиненным задним отрезком «Мир»

Объективы «Мир» (рис. 86) — многолинзовые несимметричные объективы с передним отрицательным компонентом большого диаметра, предназначенные специально для камер зеркального типа.

Объектив близкой конструкции — «Флектогон» — описан ранее, на стр. 100.

Для малоформатных фотокамер выпущен шестилинзовый объектив «Мир-1» с относительным отверстием $1:2,8$ и с фокусным расстоянием $3,7\text{ см}$, равным заднему отрезку.

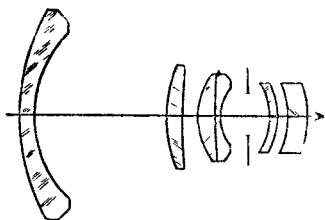


Рис. 86. Схема объектива «Мир»

Объектив «Мир-1» имеет высокую разрешающую силу по всему полю изображения и является резкорисующим объективом. Разрешающая сила его выше, чем разрешающая сила объектива «Юпитер-12», имеющего примерно такой же угол изображения (около 60°).

Причем «Юпитер-12» не может применяться в камерах зеркального типа из-за малого заднего отрезка. Оправа объектива «Мир» имеет кольцо для предварительной установки диафрагмы.

Разработан и еще более широкоугольный объектив этой схемы для малоформатных камер, охватывающий угол 76° , имеющий фокусное расстояние $2,8\text{ см}$ и относительное отверстие $1:3,5$.

Для миниатюрного зеркального фотоаппарата «Нарцисс», работающего на 16-мм неперфорированной пленке и имеющего размер кадра $14 \times 21\text{ мм}$, выпущены объективы «Мир-5» ($f=2,8\text{ см}$, $1:2$) и «Мир-6» ($f=2,8\text{ см}$, $1:2,8$).

Широкоугольные четырехлинзовые анастигматы «Орион»

Объективы «Орион» (рис. 87) — полусимметричные несклеенные диалиты «Гаусс-типа». Им близки объективы «Топогон» Цейсса.

Для малоформатных камер незеркального типа выпущен «Орион-15» ($f=2,8$ см, $1:6$) с углом изображения 75° .

«Орион-15» дает высокую резкость изображения в центральной части поля, но с заметным снижением к краям.

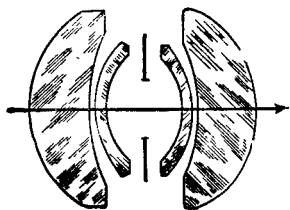


Рис. 87. Схема объектива «Орион»

По краям поля наблюдается также падение освещенности изображения. Однако при столь большом угле изображения и то и другое является обычным.

Объектив может успешно применяться для архитектурных съемок с близких дистанций, а также для съемок в тесных помещениях.

Вследствие короткого фокусного расстояния объектив обладает достаточной глубиной резко изображаемого пространства даже при полностью открытой диафрагме.

«Орион-15» выпускается в оправках двух типов:

а) с резьбовым креплением для незеркальных камер типа «Зоркий»;

б) с байонетным замком для камер типа «Киев».

Специальные широкоугольные объективы «Руссар»

Объективы «Руссар» (рис. 88) — диалиты своеобразной конструкции с очень короткой оправой и очень выпуклыми наружными линзами.

В отличие от других широкоугольных объективов объективы типа «Руссар» дают меньшее падение освещенности к краям изображения.

Исправление аберраций для пучков лучей, наклонных к оптической оси в объективах этого типа, достигнуто за счет некоторого ухудшения

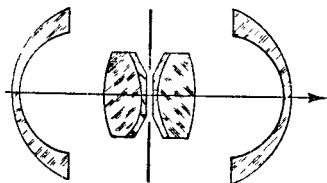


Рис. 88. Схема объектива «Руссар»

коррекции для приосевых пучков, вследствие чего разрешающая сила таких объективов несколько снижена в центре поля изображения, но сравнительно повышена по краям.

Объективы типа «Руссар» выпускаются в основном для специальных видов фотосъемки (аэрофотосъемка, метеорологическая съемка и т. п.).

Для малоформатных фотокамер выпущен объектив «Руссар МР-2» ($f=2$ см, точнее, 19,5 мм, 1 : 5,6) с углом изображения 95° .

Объектив «Руссар МР-2» не является универсальным объективом. Изображение, даваемое им, имеет преувеличенную, непривычную для глаза перспективу и линейные искажения по краям. Применять этот объектив рекомендуется лишь в специальных случаях.

Телеанастигматы «Таир»

Объективы «Таир» (рис. 89, 90) являются телеобъективами. Передний, положительный компонент у них сложный: он состоит из двух-трех линз. Задний компонент — толстая отрицательная линза — отделен от переднего большим воздушным промежутком.

При столь простой конструкции объективы «Таир» имеют значительную светосилу, обладают высокой разрешаю-

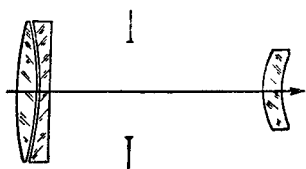


Рис. 89. Схема объектива «Таир-3» ($f=300$ мм, 1 : 4,5)

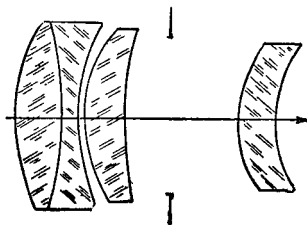


Рис. 90. Схема объектива «Таир-11» ($f=135$ мм, 1 : 2,8)

щей силой и при больших фокусных расстояниях дают крупномасштабные изображения с четкой проработкой деталей.

По схеме «Таир» производятся длиннофокусные объективы для киносъемки и телевизионной съемки.

Для малоформатных фотокамер выпущены «Таир-3» ($f=30$ см, 1 : 4,5) и «Таир-11» ($f=13,5$ см, 1 : 2,8). Оба объектива выпущены в оправе для зеркальной камеры «Зенит».

Объектив «Таир-3» имеет довольно большой вес (1,6 кг), поэтому при съемке со штатива к последнему крепится не камера, а объектив, для чего оправа объектива имеет кольцо с гнездом; при перемене формата кадра с горизонталь-

ного на вертикальный или наоборот объектив вместе с привинченной к нему камерой соответственно поворачивается в этом кольце.

Зеркально-менисковые телеобъективы «МТО»

Зеркально-менисковые объективы по принципу устройства являются зеркально-линзовыми (рис. 91, 92).

Советская фотопромышленность выпустила для малоформатных фотокамер два вида объективов этого типа: «МТО-500» ($f=50\text{ см}$, $1:8$) и «МТО-1000» ($f=100\text{ см}$, $1:10$):

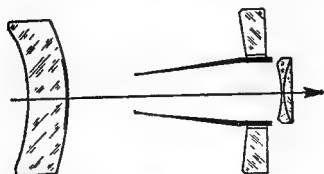


Рис. 91. Схема объектива «МТО-500» ($f=500\text{ мм}$, $1:8$)



Рис. 92. Схема объектива «МТО-1000» ($f=1000\text{ мм}$, $1:10$)

Первым (положительным) компонентом в этих объективах является компонент, расположенный позади (вогнутое зеркало). На него лучи попадают прежде, чем на второй

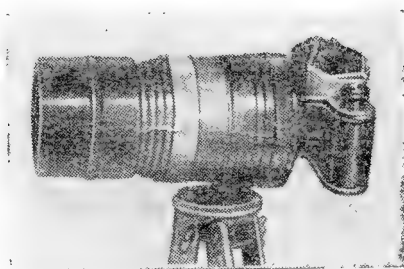


Рис. 93. Камера «Зенит» с объективом «МТО-500» на штативе

компонент (выпуклое зеркало), хотя второй компонент и расположен впереди. Линзы системы являются вспомогательными компонентами.

Наводка на резкость осуществляется изменением расстояния между компонентами путем перемещения передней части объектива (т. е. второго компонента).

Относительные отверстия объективов постоянны и выражены в эффективных значениях.

Разрешающая сила обоих объективов достаточно высока, и снимки отличаются четкостью деталей. Контраст изображения несколько понижен вследствие наличия светорассеяния в системе.

Оба объектива выпускаются в оправках для зеркальной камеры «Зенит» и имеют на оправках гнезда для крепления к штативу. Вес объектива «МТО-500» — 1,5 кг, а объектива «МТО-1000» — 4 кг. На рис. 93 показана камера «Зенит» с объективом «МТО-500» на штативе.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТИВЫ

А. Объективы для малоформатных камер

(с размером кадра 24×36 мм)

Название объектива	Фокусное расстояние (в см) *	Отно- ситель- ное от- вер- стие	В каких аппаратах применяется в качестве основного объектива	В камерах какого типа применяются в качестве сменного объектива	Угол изобр- жения (в градусах)	Разрешающая сила (в лин./мм)		Тип наводки на резкость	Ближайшая наводка (в м) ***	Минимальная диафрагма	Добавочные устройства	Страны
						по центру поля	по краю поля					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
«Руссар МР-2»	2 (19,5)	1:5,6	—	Незеркаль- ного	95	35	20	ПВО	1	16	—	113
«Орион-15»	2,8	1:6	—	Незеркаль- ного	75	45	18	ПВО	1	22	—	92, 112
«Юпитер-12»	3,5 (35,7)	1:2,8	—	Незеркаль- ного	63	34	12	ПВО	1; 0,9	22	—	95, 108
«Мир-1»	3,7	1:2,8	—	Зеркального	60	45	23	ПВО	0,7	16	КОД	100, 112
«Т-22»	4	1:4,5	«Смена»	—	57	25	12	ПВО	1,3	22	—	94, 106
«Т-32»	4,5	1:3,5	«Юность» «Спорт»	—	50	28	14	ПВО	1	22	ЦЗ	94, 106
«Индустар-10»	5	1:3,5	«ФЭД» (старых выпусков)	—	47	30	18	ПВО	1	18	ЧС	107
«Меркурий-1»	5 (52,1)	1:2	«Комета»	—	46	42	13	ПВО	1	22	—	—

Название объектива	Фокусное рассто- яние (в см) *	Отно- ситель- ное отвер- стие	В каких аппаратах применяется в качестве основного объектива	В камерах какого типа применяется в качестве съемного объектива	Угол обзор- ания (в градусах)	Разрешающая сила (в лин./мм)		Тип наводки на резкость *	Ближайшая наводка (в м) **	Минимальная длина фокусного расстояния	Дополнительные устройства	Страны произ- водства
						по центру поля	по краю поля					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
«Индустар-22»	5 (52,4)	1:3,5	«Зоркий» «Зенит»	—	45	32	20	ПВО	1; 0,65	16	—	94, 106— 107
«Индустар-50»	5 (52,4)	1:3,5	«Зоркий», «Мир», «Кристалл», «ФТ», «Зенит»	—	45	38	22	ПВО	1; 0,65	16	—	
«Индустар-26М»	5 (52,4)	1:2,8	«ФЭД», «Заря», «Зоркий», «Ленинград»	Зеркального и незеркаль- ного	45	28	14	ПВО	1; 0,6	22	КОД (только в оправах к камерам «Зенит»)	
«Вега-1»	5 (52,4)	1:2,8	—	Зеркального	45	35	20	ПВО	0,5	16	КОД	95, 108
«Юпитер-8» и «Юпитер-8М»	5 (52,4)	1:2	«Киев», «Зоркий», «Ленинград», «Друг»	Незеркаль- ного	45	30	14	ПВО	1; 0,9	22	—	
«Юпитер-17»	5 (52,4)	1:2	«Зоркий», «ФЭД», «Ленинград»	Незеркаль- ного	45	30	14	ПВО	1	22	—	

Название объектива	Фокусное расстоя- ние (в см) *	Отно- ситель- ное отвер- стие	В каких аппаратах применяется в качестве основного объектива	В камерах какого типа применяется в качестве сменного объектива	Угол избра- жения (в градусах)	Разрешающая сила (в лин/мм)		Тип наводки на резкость *	Ближайшая дистанция наводки (в м) ***	Минимальная диафрагма	Дополнительные устройства	Страницы книги
						по центру поля	по краю поля					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
«Юпитер-3»	5 (52,4)	1:1,5	Может при- меняться в тех же камерах, что и «Юпитер-8»	Незеркаль- ного	45	30	14	ПВО	1; 0,9	22	—	95, 108
«Гелиос-44»	5,8	1:2	«Старт»	Зеркального	40	35	14	ПВО	0,6	16 22	КОД (в опра- вах для «Зенита» ПД (в оправах для «Старта»))	93, 111
«Юпитер-9»	8,5 (84,5)	1:2	—	Зеркального и незеркаль- ного	30	30	18	ПВО	1,15; 0,8	22	КОД (только в оправах для камер «Зенит» и «Старт»))	95, 108

Название объектива	Фокусное расстоя- ние (в см) *	Отно- ситель- ное отвер- стие	В каких аппаратах применяется в качестве основного объектива	В камерах какого типа применяется в качестве съемного объектива	Угол изобра- жения (в градусах)	Разрешающая сила (в л/мм)		Тип наводки на резкость	Ближайшая дистанция наводки (в м) ***	Минимальная	Добавочные устройства	Страницы книги
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
«Гелиос-40»	8,5	1:1,5	—	Зеркального	28	32	16	ПВО	0,8	22	КОД	93,111
«Индустар-24М»	10,5	1:3,5	—	Зеркального	23	34	19	ПВО	0,8	22	КОД	94,106
«Юптер-11»	13,5 (133,1)	1:4	—	Зеркального и незеркаль- ного	18			ПВО	2,5; 1,5	22	КОД (только в оправах для камер «Зенит» и «Старт»)	95,108
«Таир-11»	13,5 (133)	1:2,8	—	Зеркального	18	28	18	ПВО	2,5	22	—	98,114
«Юптер-6»	18	1:2,8	—	Зеркального	14	35	16	ПВО	2,5	22	—	95, 108
«Юптер-21»	20	1:4	—	Зеркального	12	40	30	ПВО	2,5	22	—	—
«Телемар-22»	20	1:5,6	—	Зеркального	12			ПВО	2,5	22	—	—
«Таир-3»	30	1:4,5	—	Зеркального	8	36	30	ПВО	3	22	ШГ	98,114
«МТО-500» и «МТОМ-500»	50	1:8	—	Зеркального	5	28	20	ППК	4	Посто- янная	ШГ	98, 115
«МТО-1000»	100	1:10	—	Зеркального	2,5	28	16	ППК	10	Посто- янная	ШГ	—

Б. Объективы для среднеформатных камер
(с размерами кадров 6×6; 6×9 и 9×12 см)

Название объектива	Фокусное расстояние (в см)*	Относитель- ное отверстие	В каких аппаратах применяется в качестве основного объектива	Для каких камер служит в качестве сменного объектива	Угол изобра- жения (в градусах)	Разрешающая сила (в лин./мм)			Тип наводки на резкость*	Ближайшая дистанция наводки (в м) ***	Минимальная диафрагма	Дополнительные устройства ***	Страницы книги
						по центру поля	по краю поля	8					
1	2	3	4	5	6	7			9	10	11	12	13
«Юнкор»	6,5	1:8	«Юнкор» (6×6)	—	66				ПВО		11	ЦМЗ	88, 106
«Мир-3»	6,6	1:3,5	—	«Салют» (6×6)	65	30		12	ПВО	0,9	22	ПД	100, 112
«Т-22»	7,5	1:4,5; 1:6,3	«Комсомо- лец», «Лю- битель», «Спутник» (стерео) (6×6)	—	60	24; 26		12; 14	ППК	1,3	22	ЦМЗ	94, 106
«Индустар-58»	7,5	1:3,5	«Искра» (6×6)	—	60	25		8	ППК		22	ЦМЗ ЧС	94, 106— 107
«Индустар-6»	7,5	1:3,5	«Нева» (6×6)	—	60				ППК	1	22	ЦМЗ ЧС	
«Т-35»	7,5	1:4	«Эстафета», «Вымпел» (6×6)	—	60	24		10	ППК	1	22	ЦМЗ ЧС	94, 106
«Т-21»	8	1:6,3	«Комсомо- лец» (6×6)	—	55	28		12	ППК	1,5	22	ЦМЗ	

Название объектива	Фокусное расстояние (в см.)	Относитель- ное отверстие	В каких аппаратах применяется в качестве основного объектива	Для каких камер служит в качестве сменного объектива	Угол наклона (в градусах)	Разрешающая сила (в лин./мм)			Тип наводки на резкость*	Ближайшая дистанция (в м.)***	Минимальная диафрагма	Добавочные устройства	Страницы книги
						по центру поля	по краю поля	8					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
«Индустар-29» «Вега-2» «Индустар-7» «Индустар-24» «Индустар-23»	8	1:2,8	«Салют» (6×6)	—	55	20	12	ПВО	0,9	22	ПД	94, 106— 107	
	8,6	1:2,8	«Салют» (6×6)	—	50	30	16	ПВО	0,9	22	ПД		
	10,5	1:3,5	«Турист» (6×9)	—	55	28	14	ППК	1,5; 1	22	ЦМЗ		
	11	1:3,5	«Москва» (6×9)	—	55	25	12	ППК	1,5	32	ЦМЗ		
	(10,5)	1:4,5	«Москва» (6×9)	—	52	25	12	ППК	1,5	32	ЦМЗ		
«Индустар-56»	(110,6) 11	1:2,8	—	«Салют» (6×6)	52	25	12	ПВО	0,9	22	ПД		
«Индустар-2»	13,5	1:4,5	«Фотокор № 1» (9×12) (выпуск прекращен)	—	58			ПВО (кремаль- ерой)	0,27	25	ЦМЗ		
«Ортагоз»	13,5	1:4,5	«Фотокор № 1»	—	58	25	10	ПВО (кремаль- ерой)	0,27	25	ЦМЗ	91, 108	
«Т-26»	13,5	1:6,8	«Момент» (8×10,5)	—	52			ПВО (кремаль- ерой)	1	22	ЦМЗ	94, 106	
«Таир-30»	30 (302)	1:4,5	—	«Салют» (6×6)	15	24	18	ПВО		22	—	98, 114	

**В. Объективы для крупноформатных камер
(с размерами кадров 13×18 и 18×24 см)**

Название объектива	Фокусное расстояние (в см.)	Относительное отверстие	В каких аппаратах применяется в качестве основного объектива	Для каких камер служит в качестве сменного объектива	Угол обзора (в градусах)	Разрешающая сила (в лин.мм)			Тип наводки на резкость*	Ближайшая дистанция наводки (в м.)***	Минимальная диафрагма	Добавочные устройства****	Страницы книги
						по центру поля	по краю поля	8					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
«Индустар-4»	21	1:4,5	«ФК» (13×18)	—	56	18	6	ПВО	Двойное фокусное расстояние	32	—	106—107	
«Индустар-51»	21	1:4,5	«ФК» (13×18)	—	56	21	8	ПВО	Двойное фокусное расстояние	32	—		
«Индустар-13»	30	1:4,5	«ФК» (18×24)	«ФК» (13×18)	53	15	5	ПВО	Двойное фокусное расстояние	32	—		
«Индустар-37»	30	1:4,5	«ФК» (18×24)	«ФК» (13×18)	53	20	5	ПВО	Двойное фокусное расстояние	64	—		
«Индустар-11»	30; 45; 60, 90, 120	1:9	Репродукционные камеры с размером кадра 18×24 см и более	Репродукционные камеры с размером кадра 18×24 см и более		35	14	ПВО	Зависит от растяжения камеры	—	—		

•) В столбце 2 в скобках указано истинное фокусное расстояние в мм

*) В столбце 9 приняты следующие условные обозначения: ПБО — передвижением всего объекта; ППК — передвижением переднего компонента

число — для объектов в оправе с байонетным замком для камер «Киев» или же в оправах для камер зеркального типа.

ЦЗ — центральный затвор; ЦМЗ — междуализованный центральный затвор; КОД — кольцо для предварительной установки ограничения диафрагмы; ПД «срабатывания» диафрагма; ДП — диаметр объектива в оправе с оптическим замком для камер зеркального типа.

ЧС — шкала чисел световых значений; ШГ — гнездо для крепления объектива на штативе.

Г л а в а I. Образование изображений	3
Г л а в а II. Аберрации	10
Сферическая аберрация и кома	10
Астигматизм и кривизна поля изображения	14
Дисторсия	16
Хроматическая аберрация и хроматическая разность величин изображений	19
Г л а в а III. Разрешающая сила объектива	21
Изготовление радиальных мнр	22
Условия съемки мнр	24
Подсчет разрешающей силы	25
Г л а в а IV. Фокусное расстояние объектива и масштаб изображения	27
Изменение фокусного расстояния объектива насадочными линзами	30
Применение промежуточных колец	33
Г л а в а V. Угол и поле изображения	34
Углы изображения объективом	36
Видоискатели	37
Г л а в а VI. Перспектива	41
Зависимость перспективы изображения от точки съемки	43
Перспектива и фокусное расстояние объектива	46
Перспектива и характер объекта	48
Перспективные «искажения»	49
Зависимость перспективного впечатления от расстояния, с которого рассматривается снимок	53
Г л а в а VII. Светосила объектива и освещенность изображения	56
Зависимость светосилы от диаметра действующего отверстия объектива	56
Зависимость светосилы от фокусного расстояния объектива	58
Относительное отверстие объектива	59
Шкалы диафрагм	60
Изменение светосилы объектива при съемке близких предметов	62
Изменение светосилы объектива при применении насадочных линз	63
Падение освещенности изображения к краю поля	64
Светопропускание объектива и эффективная светосила	64
Просветление объективов	66
Светорассеяние в фотоаппарате	66

Глава VIII. Диафрагмирование объектива и глубина резко изображаемого пространства	69
Допустимые пределы нерезкости	71
Факторы, обуславливающие глубину резко изображаемого пространства	71
Практические расчеты глубины резко изображаемого пространства	72
Калькуляторы для расчета глубины резко изображаемого пространства	77
Зависимость глубины резко изображаемого пространства от разрешающей силы объектива	80
Глава IX. Типы объективов	81
Астигматы	85
Анастигматы	90
Телеобъективы	96
Объективы с удлиненным задним отрезком	99
Оптические системы с переменным фокусным расстоянием	101
Глава X. Основные оптические схемы отечественных фотообъективов	105
Двухлинзовые несклеенные астигматы «Перископ»	105
Трехлинзовые несклеенные анастигматы «Триплет» («Т»)	106
Четырехлинзовые анастигматы — триплеты «Индустар»	106
Четырехлинзовые несклеенные анастигматы «Ортагоз»	108
Многолинзовые полусклеенные анастигматы «Юпитер»	108
Шестилинзовые полусклеенные анастигматы «Гелиос»	111
Широкоугольные анастигматы с удлиненным задним отрезком «Мир»	112
Широкоугольные четырехлинзовые анастигматы «Орион»	112
Специальные широкоугольные объективы «Руссар»	113
Телеанастигматы «Таир»	114
Зеркально-менисковые телеобъективы «МТО»	115
Приложение. Отечественные фотографические объективы	117

Павел Алексеевич Ногин
ФОТОГРАФИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТИВ

Редактор А. А. Фомин
Оформление художника И. С. Клейнард
Художественный редактор З. В. Воронцова
Технический редактор В. И. Сушкевич
Корректоры Г. И. Сопова и Г. Г. Харитонова

Сдано в набор 8/XII 1960 г. Подписано к печати 17/V 1961 г.
Формат бум. $84 \times 108^{1/2}$. Печ. л. 4,25 (усл.-п. л. 6,97). Уч.-изд. л. 6,52.
А-05046. Тираж 65 000 экз. Изд № 16319. Заказ тип. № 1270.
«Искусство». Москва, И-51, Цветной бульвар, 25.

Набрано в Первой Образцовой типографии им. А. А. Жданова.
Отпечатано в Московской типографии № 5 Мосгорсовнархоза.
Зак. 1184.

Цена 23 коп.